



TITLE:

集合住宅設計最適化の支援方法に関する研究(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

古阪, 秀三

CITATION:

古阪, 秀三. 集合住宅設計最適化の支援方法に関する研究. 京都大学, 1986, 工学博士

ISSUE DATE:

1986-05-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r5968>

RIGHT:

| | |
|------|---|
| 新 | 制 |
| 工 | |
| 669 | |
| | |
| 京大附図 | |

集合住宅設計最適化の支援方法に関する研究

1986年2月

古 阪 秀 三

集合住宅設計最適化の支援方法に関する研究

1986年2月

古 阪 秀 三

目 次

序 論

| | |
|-------------------|----|
| 第1章 序論 | 1 |
| 1.1 はじめに | 1 |
| 1.2 建築プロジェクトの特徴 | 3 |
| 1.2.1 一回性 | 3 |
| 1.2.2 建築生産プロセスの分節 | 4 |
| 1.2.3 推進組織の臨時性と分立 | 5 |
| 1.2.4 多様性、多目的性 | 6 |
| 1.2.5 問題の所在 | 9 |
| 1.3 研究の目的と概要 | 9 |
| 1.3.1 研究の目的 | 10 |
| 1.3.2 研究の範囲 | 11 |
| 1.3.3 研究の概要 | 13 |
| 1.4 本論文の構成 | 13 |
| 参考文献 | 17 |

| | |
|---------------------------|----|
| 第I編 集合住宅プロジェクトにおける決定問題の実態 | 19 |
|---------------------------|----|

| | |
|----------------------------|----|
| 第2章 結論 | 19 |
| 2.1 はじめに | 19 |
| 2.2 集合住宅プロジェクトのプロセスフロー | 22 |
| 2.3 集合住宅プロジェクトの各種決定問題分析の方針 | 26 |
| 2.3.1 問題とは何か | 26 |
| 2.3.2 決定問題分析の方針 | 28 |
| 参考文献 | 31 |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| 第3章 企画・設計段階での決定問題の実態 | 33 |
| 3.1 設計施工競技方式による団地建設プロジェクトの基本設計での決定問題 | 33 |
| 3.1.1 対象プロジェクト及び問題の概要 | 33 |
| 3.1.2 問題の構造 | 34 |
| 3.1.3 処理過程 | 37 |
| 3.1.4 まとめ | 40 |
| 3.2 設計施工競技方式による団地建設プロジェクトの実施設計での決定問題 | 41 |
| 3.2.1 対象プロジェクト及び問題の概要 | 41 |
| 3.2.2 問題の構造 | 41 |
| 3.2.3 処理過程 | 44 |
| 3.2.4 まとめ | 52 |
| 3.3 設計施工一貫方式における基本、実施設計での設計、仕様の決定問題 | 52 |
| 3.3.1 対象プロジェクト及び問題の概要 | 52 |
| 3.3.2 問題の構造 | 54 |
| 3.3.3 処理過程 | 56 |
| 3.3.4 まとめ | 60 |
| 参考文献 | 62 |
| 第4章 施工段階での決定問題の実態 | 63 |
| 4.1 大規模集合住宅プロジェクトにおける工期決定問題 | 63 |
| 4.1.1 対象プロジェクト及び問題の概要 | 63 |
| 4.1.2 問題の構造 | 65 |
| 4.1.3 処理過程 | 68 |
| 4.1.4 まとめ | 82 |
| 4.2 建築部品の生産、供給問題 | 85 |
| 4.2.1 対象プロジェクト及び問題の概要 | 86 |
| 4.2.2 問題の構造 | 92 |
| 4.2.3 処理過程 | 96 |
| 4.2.4 まとめ | 102 |
| 4.3 内装プレハブ工事の工数計画問題 | 103 |

| | |
|--------------------------------|---------|
| 4.3.1 対象プロジェクト及び問題の概要 | 103 |
| 4.3.2 問題の構造 | 105 |
| 4.3.3 処理過程 | 108 |
| 4.3.4 まとめ | 110 |
| 4.4 内装プレハブ工事の施工体制決定問題 | 110 |
| 4.4.1 対象プロジェクト及び問題の概要 | 111 |
| 4.4.2 問題の構造 | 113 |
| 4.4.3 処理過程 | 116 |
| 4.4.4 まとめ | 123 |
| 4.5 複数発注者の関与するプロジェクトでの設計変更処理問題 | 125 |
| 4.5.1 対象プロジェクト及び問題の概要 | 125 |
| 4.5.2 問題の構造 | 126 |
| 4.5.3 処理過程 | 130 |
| 4.5.4 まとめ | 136 |
| 参考文献 | 138 |
| 第5章 維持保全段階での決定問題の実態 | 141 |
| 5.1 中高層集合住宅の修繕計画決定問題 | 141 |
| 5.1.1 対象プロジェクト及び問題の概要 | 141 |
| 5.1.2 問題の構造 | 143 |
| 5.1.3 処理過程 | 148 |
| 5.1.4 まとめ | 153 |
| 5.2 中高層集合住宅の修繕実態 | 153 |
| 5.2.1 対象プロジェクト及び問題の概要 | 154 |
| 5.2.2 問題の構造 | 156 |
| 5.2.3 処理過程 | 160 |
| 5.2.4 まとめ | 167 |
| 参考文献 | 168 |

| | |
|--------------------------------|-----|
| 第6章 結論 | 171 |
| 6.1 決定問題の実態 | 171 |
| 6.2 決定問題の整理 | 173 |
| 6.3 最適化に必要な条件 | 174 |
| 6.4 まとめ | 177 |
| 参考文献 | 177 |
| 第Ⅱ編 基本設計プロセスでの集合住宅プロジェクトの最適化 | 179 |
| 第7章 基本設計プロセスでの集合住宅プロジェクトの最適化方法 | 181 |
| 7.1 はじめに | 181 |
| 7.2 最適化の方法論上の諸問題 | 181 |
| 7.2.1 最適化方法の開発 | 181 |
| 7.2.2 多目的システム | 182 |
| 7.2.3 分析と総合 | 185 |
| 7.2.4 決定過程の合理性 | 186 |
| 7.2.5 物的設計支援 | 187 |
| 7.3 基本設計プロセスでの集合住宅プロジェクトの最適化方法 | 190 |
| 7.3.1 集合住宅プロジェクトのプロセスフロー | 190 |
| 7.3.2 情報を利用するシステム | 190 |
| 7.3.3 情報をつくり出すシステム | 190 |
| 7.3.4 基本設計プロセスでの最適化方法 | 196 |
| 7.4 まとめ | 198 |
| 参考文献 | 199 |
| 付 録 | 201 |
| 第8章 基本設計プロセスでの集合住宅設計の工事費計画の最適化 | 207 |
| 8.1 はじめに | 207 |
| 8.2 企画・設計段階での概算法 | 208 |
| 8.2.1 概算法の各種 | 208 |

| | | |
|--------------------------------------|-----------------------|-----|
| 8.2.2 | 本研究での概算法 | 210 |
| 8.3 | 多変量解析による概算モデルの開発 | 212 |
| 8.3.1 | 躯体数量概算と誤差 | 212 |
| 8.3.2 | 重回帰分析による概算モデル | 215 |
| 8.3.3 | 重回帰式の妥当性の検討 | 219 |
| 8.3.4 | 分析結果とその考察 | 220 |
| 8.4 | 概算モデルの適用例 | 226 |
| 8.4.1 | モデルの適用範囲 | 226 |
| 8.4.2 | 適用例 | 226 |
| 8.5 | 精度向上のための改善策Ⅰ | 227 |
| 8.5.1 | 観測誤差率の大きいグループ、部分への対策 | 228 |
| 8.5.2 | 適用例 | 229 |
| 8.6 | クラスター分析導入による概算精度の向上 | 230 |
| | (精度向上のための改善策Ⅱ) | |
| 8.6.1 | クラスター分析の手法選定 | 230 |
| 8.6.2 | ウォード法によるクラスター分析 | 232 |
| 8.6.3 | 分析結果とその考察 | 233 |
| 8.6.4 | 適用例 | 235 |
| 8.7 | まとめ | 236 |
| | 参考文献 | 238 |
| 第9章 基本設計プロセスでの超高層集合住宅プロジェクトの施工計画の最適化 | | 239 |
| 9.1 | はじめに | 239 |
| 9.2 | 超高層クレーン配置計画問題の記述 | 241 |
| 9.2.1 | 問題設定 | 241 |
| 9.2.2 | 前提、制約条件 | 242 |
| 9.2.3 | モデルの構築 | 242 |
| 9.3 | 最適化の手順 | 244 |
| 9.3.1 | 移動式、走行式クレーンの施工可能性の検討 | 244 |
| 9.3.2 | 定置式タワークレーンの施工可能性と配置計画 | 246 |

| | |
|---|---------|
| 9.3.3 最小コストルール探索 | 250 |
| 9.3.4 モデルのフローチャートおよび出力例 | 251 |
| 9.4 モデルの適用と結果の考察 | 255 |
| 9.5 まとめ | 257 |
| 参考文献 | 258 |
| 第10章 基本設計プロセスでの大規模団地建設プロジェクトの施工計画の最適化 | 259 |
| 10.1 はじめに | 259 |
| 10.2 配置計画モデルの概要 | 260 |
| 10.2.1 既存研究との関連 | 260 |
| 10.2.2 配置計画モデルの概要 | 260 |
| 10.3 シミュレーション・モデルの作成 | 261 |
| 10.3.1 シミュレーション・モデルの前提 | 261 |
| 10.3.2 シミュレーション・モデルの作成 | 262 |
| 10.3.3 シミュレーション・モデルの入出力情報 | 265 |
| 10.4 シミュレーションの結果 | 265 |
| 10.5 配置計画モデル | 267 |
| 10.5.1 問題設定 | 267 |
| 10.5.2 解法 | 269 |
| 10.6 配置計画モデルの適用と結果の考察 | 271 |
| 10.7 まとめ | 274 |
| 参考文献 | 275 |
| 第11章 基本設計プロセスでの維持保全計画の最適化 | 277 |
| 11.1 はじめに | 277 |
| 11.2 維持保全計画のための計量化手法のモデル及び考え方 | 278 |
| 11.2.1 建物のライフサイクル設計における2 nd 方式 | 279 |
| 11.2.2 初期建設費と耐用年数の関係 | 285 |
| 11.2.3 ライフサイクルコスト算定モデル | 289 |
| 11.2.4 建物部分のライフサイクルコスト算定モデルの比較 | 294 |

| | |
|--------------------|-----|
| 11.3 維持保全問題の記述 | 299 |
| 11.3.1 用語の定義 | 299 |
| 11.3.2 劣化関数と修繕区分 | 300 |
| 11.4 維持保全計画とモデル | 301 |
| 11.4.1 各種のモデルの構築 | 301 |
| 11.4.2 モデルの試算例 | 305 |
| 11.4.3 改良型モデル | 313 |
| 11.4.4 変数の感度 | 316 |
| 11.5 シミュレーション結果と考察 | 317 |
| 11.6 適用例 | 321 |
| 11.7 まとめ | 322 |
| 参考文献 | 325 |

結 論

| | |
|-----------|-----|
| 第12章 結 論 | 327 |
| 既報論文・報告一覧 | 339 |

序 論

第1章 序論

1. 1 はじめに

造船、機械など他産業のプロジェクトでは、設計と生産は同一組織内で行われている。建築プロジェクトでは設計と施工が組織的に分化しているという意味で、他産業に比べ特殊である。もちろん設計施工一貫の形式で施工者が設計をも包括的に処理するものもあるが、その本質において設計者と施工者の分化の例外ではない。この設計施工一貫の是非をめぐっては古くから多くの論争がある。（＊2，3）しかしその論点は観念論に終始している。設計と施工の分化、専門化が必然のものであるならば、その統合のあり方にこそ問題が内在している。古川修はいう。（＊4）「統合は一面からいえば専門化によってはじめて問題性をはらむのであって、その意味では発展した専門化の上にたつ統合には、新しい理念、業務の開発が伴わなければならないのである。」。このような設計と施工の統合の必要性は指摘されながら、具体的な提案は少ない。設計、施工それぞれの分野で分断された形で業務が遂行されている。

そして現在、問題を集合住宅プロジェクトに絞っても、その建築界をとりまく各種の制約は強まっている。制約の強さの一つは、昭和48年全都道府県で住宅総数が世帯数を上回り（＊5）、住宅の量的充足から質的充足の時代へとかわり、建築主の要求が高度化し、さらに品質保証が強く求められるようになったことである。細部でいえば工事費の低減、工期短縮、信頼性、保全性の確保等枚挙にいとまがない。制約の強さの二つは建築物に多様な技術、機能が必要となってきたことである。たとえば省エネルギーを達成する設計、ホームオートメーションにみられるような先端技術を利用した設計などである。さらにこれらの技術、機能の多様化に伴って組織的な設計を指向しなければならなくなってきた。制約の強さの三つは工事環境のきびしさである。日照、電波障害、騒音振動などいわゆる『建設公害』（＊6）対策、利用可能な道路等立地条件の制約、これらは工事内容が、複雑、大規模化する程その影響が大きくなる。また工事の実施においても工事期間の短縮化の傾向、1日労働時間の制約、条件によっては日祭日作業の禁止、技能工の不足、安全管理の重視などあらゆる側面で厳しい環境となってきた。

このように多方面で制約の強さが増す集合住宅プロジェクトを何らかの意味で最適化するには、個別の制約条件を個々に検討していたのでは達成することは不可能である。できる限り一貫した方法論が必要である。

さてここで若干の用語の定義をしておくことで、今後の議論の無用の誤解、混乱を避けたい。

(1) プロジェクト……工事といえば主として施工段階での意味が強く、それとの混同を避けることから企画、基本設計から施工、維持保全の建築生産プロセスの全体を指してプロジェクトという。但し用地の選定、確保等建築物の設計・施工に直接関係しない業務は除く。

(2) 最適化 ……最適化とはJIS Z8121 オペレーションズリサーチ用語によれば、「体系の目的を、与えられた環境・条件のもとで最もよく達成させること。」である。最適化にはその目的、評価基準、評価主体の三つを欠くことができない。一般に建築プロジェクトは多目的で、多元的な評価基準を持ち、評価主体が複数存在する。また最適化には建築生産プロセスの各プロセス内もしくは各主体内での最適化、いわゆる部分最適化とプロジェクト全体の合理的、体系的な全体最適化の二つがある。後者の最適化をプロジェクトの最適化あるいは全体最適化という。

(3) プロジェクトの

最適化……プロジェクトの最適化をやや詳しく考える。プロジェクトの最適化とは企画・設計段階において企画・設計から維持保全に至る全体を多目的、多元的な評価基準で建築主の立場から検討し、それらを最大化、最小化もしくは満足化することを意味する。ただし、いずれかの主体が不当に利益を得たり、不利益を被ったりしないことがその前提となることはいうまでもない。この企画・設計段階で行われる設計は一般に生産物そのものの設計と生産行為の設計に分けられる。本論文では前者を物的設計、後者を計画という。後者には製造業にいう生産設計が含まれる。建築計画学の分野で主として研究されている設計論、設計方法論を踏まえて確定されていく物的設計の実現可能性を技術、経済性の点で保証する計画、具体的には当初の物的設計の経済性検討のための工事費計画、つくり方の最適化をはかる施工計画、生涯費用の点での経済性を検討する維持保全計画を整合的に最適化することを本論ではプロジ

エクトの最適化という。

1. 2 建築プロジェクトの特徴

前節でみられたように建築プロジェクトとりわけ集合住宅プロジェクトの最適化には設計と施工の統合問題が存在している。ここでは建築プロジェクトの特徴をみながらさらに具体的に検討し、問題の所在を明らかにする。建築プロジェクトは次の4点を特徴としている。

- (1) 一回性
- (2) 建築生産プロセスの分節
- (3) 組織の臨時性と分立
- (4) 多様性、多目的性

1. 2. 1 建築プロジェクトは原則として一回限りである。

建築プロジェクトの実施には用地の確保と設計図、仕様書が存在すること、これが前提である。同じ敷地に建築プロジェクトが併存することもなければ、同じ設計図、仕様書に基づくプロジェクトも存在しない。つまり一回限りである。この特徴は次のような特異性にわけて考えることができる。

(1) 建築プロジェクト毎に施工現場が異なる。

プロジェクト毎に施工現場が異なるということは設計、施工の環境条件がプロジェクト毎に変化することを意味している。たとえば地盤条件や地下水位は杭、地下階の設計、施工計画に大きく影響を及ぼす。また工事用道路として利用できる道路の制約は工事用資機材の輸送手段、輸送計画と関係しており、市街地では日照、電波障害などいわゆる建設公害とか作業時間、作業日の制約を受ける恐れもある。

また施工現場には機械、資材、労働力のすべてを外部から搬入しなければならず、その調達、輸送はプロジェクト毎に検討しなければならない。プロジェクトの実施時期、場所によっては技能労働者の制約からある種の工事が実施できず、別の工法によらざるを得ないといったこともありうる。

(2) 設計図、仕様書がプロジェクトによって異なる。

建築プロジェクトはまず構造、用途が多様である。構造別には鉄骨造、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造等。また用途別には事務所、集合住宅、学校、倉庫等。つ

ぎに工事規模が多様である。超高層建築物のように地上、地下に相当数の階数を持つものもあれば地上1階建のものもある。また面積規模も多種多様である。設計図、仕様書はプロジェクト毎に作成されるため、必然異なった内容となる。

こういった工事内容の変動は設計、施工の合理化を推進する上での統一的な方法が存在せず、各プロジェクトに適した独自の方法が採用されることになり、その評価基準の設定をも困難なものにしている。

1. 2. 2 建築生産プロセスの分節 — 前工程追随型

建築生産プロセスは一般に図1.1のようである。すでに述べたように建築プロジェクトは一回性のものであるため、設計プロセスは不可欠であり、それは建築主の企画情報によって開始される。組織的にいえば、設計者に企画業務を委任することもあり、また営業企画として建築主に売りこむこともある。しかしこれらはまれなケースである。企画をうけて構想、基本設計→実施設計→積算→施工計画→施工・施工管理→竣工→維持保全と続く。基本設計はあくまでも企画内容の具体化に主眼があり建築主向けの性格が強い。実施設計は基本設計を実際の工事が可能な程度に具体化するプロセスであり施工者向けの性格が

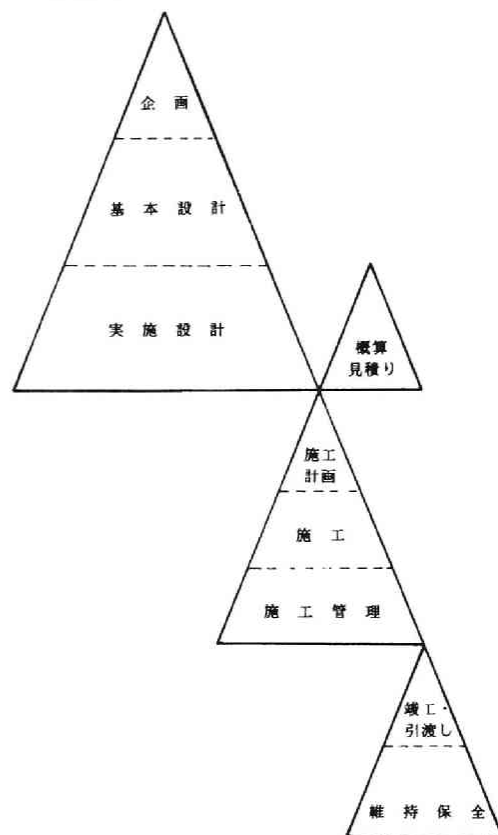


図1.1 建築生産プロセス

強い。引き続き施工計画以降のいわゆる施工段階は設計の意図を忠実に実現するためのプロセスであり、設計→施工への一方交通型である。さらに維持保全のプロセスは建築主に建築物が引渡されて以降の全プロセスを表徴しているが、建築物が引渡されて初めて維持保全計画等建築物の運用計画が立案されることが多い。このように図1.1に示す各プロセスは直前のプロセスに時間的にも、論理的にも追随する形で存在している。端的にい

例えば前工程追従型である。もちろん個別の建築プロジェクトでは厳密にこの順序関係に従っていない場合もなくはない。たとえば設計施工のようなケースでは実施設計が完了しないうちに工事を開始したり（実施設計、施工計画、施工プロセスのオーバーラップ）、貸ビル等では企画プロセスで投資評価をするために、ある程度の建築物の運用計画を立て、その収支計算を行っている。いずれにせよ建築生産プロセスを前工程追従型とするのが在来の通念になじむ見方であろう。

1. 2. 3 建築プロジェクト推進組織の臨時性と分立

建築生産プロセスの分断された各プロセスには専門化が進行する。それは技術的分業にとどまらず、社会的分業にまで及ぶ。各プロセスに対応した社会的分業＝専門家が成立した場合が最も極端なケースでいわば社会的精細分業である。現在の一般的な分業体制＝建築生産組織は図1.2に示すごとくである。この組織を古川修は建築チームと呼び、設計をおもな機能とした集団（図の左側）を設計チーム、残余の集団（図の右側）を施工チームと呼んでいる。（＊11）

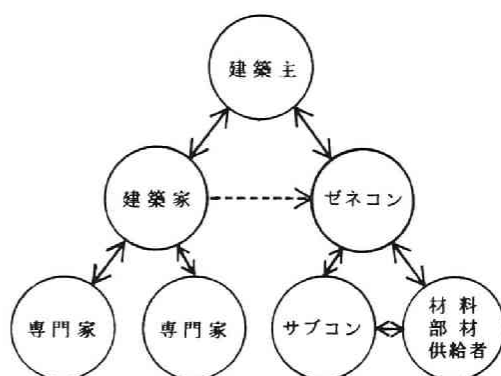


図1.2 建築生産組織（＊11）

さてこの建築チームはプロジェクト毎に編成される臨時的なものである。そしてその組合せの主導権を持つのは多くの場合建築主である。建築主は通常素人である。建築主は若干の情報から建築家を選び、別個にもしくは建築家の助言をもとに一般には競争的に施工者を選ぶ。このように建築主の建築プロジェクトにおけるイニシアティブは強く、建築チームは社会に分散している中から偶然的に編成されることになる。

結果としてチーム間の情報流通は分断され、設計チーム→施工チームの一方交通型にならざるを得なくなる。これは前項の建築生産プロセスの前工程追従型を説明する要因の一つであると解される。分断されたそれぞれのチームはチーム内での合理性、最適性を目指すことになる。部分最適化である。さらに建築チームの構成員それぞれもその成立基盤が異なるため、その目的はおのずと差異があり、対立的なものもある。

星野芳郎は『技術革新』（＊12）の中で「同じ技術原理の枠内で、そうした形での部

分的改良がすすみ、技術はやがて爛熟の極に達するであろう。そして、経済的な必要性から言えば、いよいよ技術原理そのものの変化が強く要求されざるを得ないことになる。」と指摘している。本論の文脈でいえば、同じチーム内の技術原理の枠内で部分的な改良がすすみ、それぞれのチーム内での技術は高度化するであろう。つまり部分最適化の手法なり方法はかなりの段階にまで高められよう。しかしそれはあくまでも部分最適であり、チーム内の技術の爛熟であって、プロジェクト全体の最適化の観点からいえば、チーム間の技術原理を変化させることが強く要求される。一方交通型ではなく、双方向交通型、プロジェクト全体の統一的なみかたが求められることとなる。

いま製造業にいう生産設計を「機能設計のもとめるところを、もっとも経済的に、しかも容易に実際に生産できるようにアレンジしなすことであり、そのための工作設計とか、工具設計とかをとまなう。」（＊7）とすれば、建築生産プロセスでは施工計画がこれに該当する。しかし上述したように各プロセスが前工程追従型で且つ設計、施工チームが分断されている場合『アレンジしなす』ことは一定程度の困難を伴う。

1. 2. 4 建築プロジェクトの多様性、多目的性

建築主の要求は多様化する。一方で要求の内容は厳密化している。「何をのぞむか」の多様化である。これを受けた設計つまり「何をすればそれが満たせるか」はさらに多様化する。たとえば「省エネルギー建築物にしてほしい」を達成する設計には①熱負荷の軽減、②エネルギー源の検討、③熱交換の効率化などいろいろある。これらの優先度、比重により設計内容は異なる。また使用する部品、部材、技術も多様化している。次のプロセスである施工計画では「いかにつくるか」が検討されるが、このプロセスでもいくつかの多様性が存在する。その一つは新しい施工機械、施工法、資材が種々用いられること。二つ、特定の作業に限っても数種の機械、資材、労働者の組み合わせが考えられること。三つ、現場施工、工場生産・現場組立を両端とするいくつかの施工方式が存在することなどである。実際の施工プロセスでは投入される労働者の職種が多岐にわたる。在来木造住宅においても20種程度の職種が必要で、一般の建築物では50種をこえる（表1.1）のが通常である。且つこれら多職種の労働者は整然と順次施工現場に投入されることはまれで、出会い丁場的で、渾然一体となって作業を進めることが多い。また部分工事の種類も多い。部分工事の定義にもよるが、たとえば工種別に建築だけをみた場合でも20種（表1.2）、建築業許可の種類は28種（表1.3）である。

表1.1 建設職種一覧（※8）

| 各工事共通職種 | 注土工 | 看板工 | 設備工事関連職種 | コンクリート |
|--------------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 合図者 | 唄付 | 軽鉄工 | 管工事施工管理技士 | プレーサ運転工 |
| 足場とび | 鉄筋工 | 建築士 | さく井工 | コンプレッサ運転工 |
| アスファルト防水工 | 鉄骨工 | 建築大工（木造） | 昇降機技能工 | 自動運転工 |
| 圧接工 | 鉄骨とび工 | 鋼製建具工 | 消防設備士 | ショベル運転工 |
| 鍛冶工 | （エレクター） | 左官工 | 設備機械工 | スクレーパ運転工 |
| 型わく解体工 | 特殊作業員 | シャッター工 | ダクト工 | タワークレーン |
| 型わく工 | 土工 | 墨出し大工 | 配管工 | 運転工 |
| 監（看）視人 | とび工 | スレート工 | 保温工 | 積込機械運転工 |
| 危険物取扱者 | 塗膜防水工 | 製図工 | 機械・電気関連職種 | デリック運転工 |
| くい打工 | 入夫 | 造作大工 | 移動式クレーン | 電工 |
| くい打とび | 場所打ぐい工 | 耐火被覆工 | ウインチマン | トラッククレーン |
| グラウト工 | はつり工 | 大工 | 運搬機械運転工 | トンネル掘削機 |
| 軽作業員 | PS工 | タイル工 | 機械工 | 運転工 |
| 警備員 | 非破壊検査技術者 | 畳工 | 基礎工事用機械 | バックホウ運転工 |
| コンクリート圧送工 | 普通作業員 | 建具工 | くい打機運転工 | パッチャープラント |
| コンクリート工 | プレハブ建築防水工 | 塗装工 | 掘削機械運転工 | 運転工 |
| コンクリート試験工 | 防水工 | 内装工 | クラッシング | フォークリフト |
| コンクリート（主任）技士 | ボーリング工 | 内装ボード張り工 | プラント運転工 | ブルドーザ運転工 |
| | 補助工 | 板金工 | クラッシュ | ベント運転工 |
| 作業指揮者 | モルタル防水工 | PC工 | クラッシュ | 舗装機械運転工 |
| 作業主任者 | 山止（留）工 | 表装工 | ケーブルクレーン | モーターグレーダ |
| シート防水工 | 誘導員 | ビル清掃工 | 建設機械運転工 | 溶接工 |
| シーリング防水工 | リベット工 | 裸工 | 建設機械整備工 | リバーシ工 |
| 重量物運搬とび | 建築工事関連職種 | ブロック工 | 建設機械施工技士 | ロッカショベル |
| 職長 | 石工 | 壁装工 | 建設用リフト運転工 | 運転工 |
| 深礎工 | ALC工 | 目地工 | | |
| スタッド工 | カーペット工 | 木製建具工 | | |
| 世話役 | 金物工 | 屋根ふき工 | | |
| 測量士（補） | ガラス工 | 床張工 | | |
| 玉掛工 | かわらぶき工 | れんが工 | | |

表1.2 標準書式における工事費内訳明細書の工事費構成（※9）

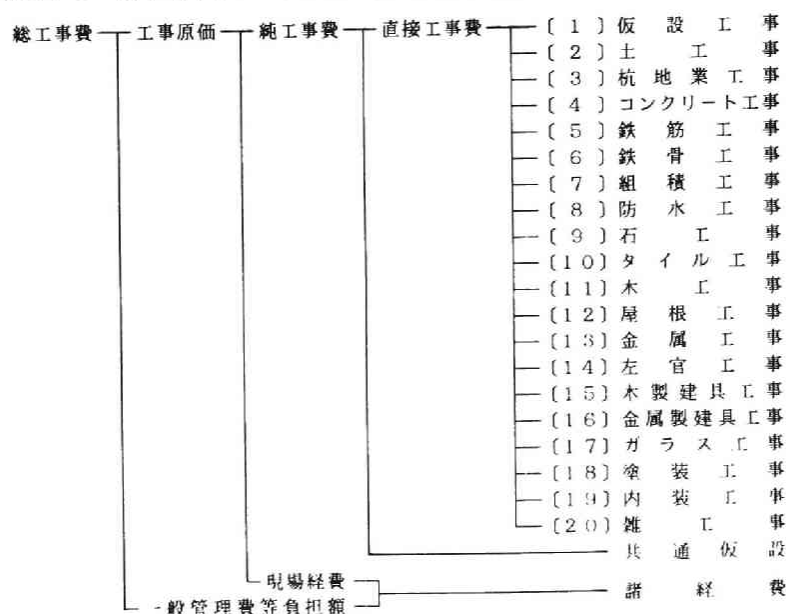


表1.3 建設業法による業種分類

| No. | (**1) 建設工事の種類 | (**1) 許可建設業種 | (**2) 建設工事の内容 |
|-----|------------------|-----------------|---|
| 1 | 土木工事一式 | 土木工事業 | 総合的な企画、指導調整のもとに土木工作物を建設する工事(補修、改造又は解体する工事を含む。以下同じ) |
| 2 | 建築一式工事 | 建築工事業 | 総合的な企画、指導調整のもとに建築物を建設する工事 |
| 3 | 大工工事 | 大工工事業 | 木材の加工又は取付けにより工作物を築造し、又は工作物に木製設備を取付ける工事 |
| 4 | 左官工事 | 左官工事業 | 工作物に壁土、モルタル、漆くい、プラスター等をこて塗り、吹付け、又は張付ける工事 |
| 5 | とび・土工・コンクリート工事 | とび・土工工事業 | イ 足場の組立て、機械器具・建設資材等の重量物の運搬配置、鉄骨等の組立て、工作物の解体等を行う工事 ロ くい打ち、くい抜き及び現場くいをを行う工事 ハ 土砂等の掘削、盛り上げ、締固め等を行う工事又はコンクリートにより工作物を築造する工事 ニ その他建設工事に付随する基礎的なしは準備的工事 |
| 6 | 石工事 | 石工事業 | 石材(石材に類似のコンクリートブロックを含む。)の加工又は積方により工作物を築造し、又は工作物に石材を取付ける工事 |
| 7 | 屋根工事 | 屋根工事業 | 瓦、スレート、金属薄板等により屋根をふき、又は屋根に工作物を取付ける工事 |
| 8 | 電気工事 | 電気工事業 | 発電設備、変電設備、送配電設備、屋内電気設備等の電気工作物を建設する工事 |
| 9 | 管工事 | 管工事業 | 冷暖房、空調調和、給排水、衛生等のための施設を配置し、又は金属製等の管を使用して水、油、ガス、水蒸気等を送配するための施設を設置する工事 |
| 10 | タイル・れんが・ブロック工事 | タイル・れんが・ブロック工事業 | れんが、コンクリートブロック等により工作物を築造し、又は工作物に、れんが、コンクリートブロック、タイル、テラコッタ等を取付け、又ははり付ける工事 |
| 11 | 鋼構造物工事 | 鋼構造物工事業 | 形鋼、鋼板等の鋼材の加工又は組上げにより工作物を築造する工事 |
| 12 | 鉄筋工事 | 鉄筋工事業 | 棒鋼等の鋼材を加工し、取付け、又は組立てる工事 |

| | | | |
|----|----------|-----------|---|
| 13 | 舗装工事 | 舗装工事業 | 道路等の地盤面をアスファルト、コンクリート、砂、砂利、碎石等により舗装する工事 |
| 14 | しゅんせつ工事 | しゅんせつ工事業 | 河川、港湾等の水底をしゅんせつする工事 |
| 15 | 板金工事 | 板金工事業 | 金属薄板等を加工して工作物に取付け、又は工作物に金属製の付属物を取付ける工事 |
| 16 | ガラス工事 | ガラス工事業 | 工作物にガラスを加工して取付ける工事 |
| 17 | 塗装工事 | 塗装工事業 | 塗料、塗材等を工作物に吹付け、塗付け、又は張り付ける工事 |
| 18 | 防水工事 | 防水工事業 | アスファルト、モルタル、目地材等によって防水を行う工事 |
| 19 | 内装仕上工事 | 内装仕上工事業 | 木材、石膏ボード、吸音板、壁紙、たみ、ビニルアスベストタイル、カーペット、ふすま等を用いて建築物の内装仕上げを行う工事 |
| 20 | 機械器具設置工事 | 機械器具設置工事業 | 機械器具の組立て等により工作物を建設し、又は工作物に機械器具を取付ける工事 |
| 21 | 熱絶縁工事 | 熱絶縁工事業 | 工作物又は工作物の設備を熱絶縁する工事 |
| 22 | 電気通信工事 | 電気通信工事業 | 有線電気通信設備、無線電気通信設備、放送機械設備、データ通信設備等の電気通信設備を設置する工事 |
| 23 | 造園工事 | 造園工事業 | 敷地、樹木の植栽、景石のすえ付け等により庭園、公園、緑地等の苑地を築造する工事 |
| 24 | さく井工事 | さく井工事業 | さく井機械等を用いてさく井、温泉掘さく、浅井戸築造、揚水設備設置等を行う工事 |
| 25 | 建具工事 | 建具工事業 | 工作物に木製又は金属製の建具等を取付ける工事 |
| 26 | 水道施設工事 | 水道施設工事業 | 上水道、工業用水道等のための取水、浄水、配水等の施設を増築する工事又は公共下水道若しくは流域下水道の処理設備を設置する工事 |
| 27 | 消防施設工事 | 消防施設工事業 | 火災警報設備、消火設備、避難設備若しくは消火活動に必要な施設を設置し、又は工作物に取付ける工事 |
| 28 | 清掃施設工事 | 清掃施設工事業 | ごみ処理施設工事、し尿処理施設工事 |

(**1) 建築業法第2条第1項別表より

(**2) 昭和47年3月8日建設省告示第350号より

これらのプロセスにおける目的はそれぞれ異なり、個々のプロセス内でもその目的がある場合コスト最小化となり、別の場合工期短縮等となる。要するに多目的である。

このように建築プロジェクトは設計内容、施工方法の選択肢が多様なことと目的自身が多目的なことを特徴としている。単一目的、多目的のいずれにせよ、部分的に考える場合と全体として考える場合とでは複雑化の程度が異なる。全体としての立場では果たして統一的合理性を求める方法があるのかどうかの問題の出発となる。部分的に考える立場では直ちに部分問題にとりくむことになり、その場合全体的検討はとりあえず目をつむることになる。この点に関して中岡哲郎は『技術を考える13章』の中で次のように述べている。「本当に全体に部分的にでなしにアプローチできる方法がわれわれにありうるのかどうかを一度徹底的に問いつめてみることだ。どのようなアプローチも必ず部分的であることがわかるだろう。」（＊16）

1. 2. 5 問題の所在

結局建築プロジェクトは設計と施工が分離していること、しかも情報は設計から施工への一方交通型に近いことを特徴としている。またプロジェクトの諸機能を満足させる物的設計はいくつとりの代替的方法があり、それらの物的設計を実体化するためにつくり方にもいくつとりの代替的方法がある。さらにプロジェクトに要求される内容、ハード技術等は複雑化、多様化、高度化している。

従って現実には二つの可能性が潜在している。一つは設計、施工それぞれのチーム内での合理性、最適性を目指すこと、二つは代替案、情報を網羅することが困難で、個人的経験、達観に依存する部分が多く、最適化ではなく、満足化にとどまること。

1. 3 研究の目的と概要

建築プロジェクトの最適化方法を考える場合、プロジェクトの種類、関連する要因が多岐に亘り、実体の把握、分析が膨大な量となるため、統一的に扱うことは困難である。ここでは、建築プロジェクトのうち集合住宅プロジェクトに限定してその最適化方法について論述することにする。

さて目標とする最適化方法には三つのレベルがある（図1.3）。最も低いレベル（レベル1）は現在部分的な事象について主として経験と達観によって意思決定されている過程を取り出しその過程を論理的にし、望むらくは合理的に部分最適化を達成する方法をい

う。これを現状改良型と呼ぶ。

次のレベル（レベル2）はレベル1よりも包括的な部分的事象について現状改良型の方法をいくつか統合し、もしくは現状改良型と未だ論理的になっていない過程とを統合し、最適化を達成する方法をいう。これを改善型という。

レベル3は現状改良型、改善型を統合し、もしくは未だ論理的になっていない過程をも包括した全体を最適化する方法をいう。これを開発型という。

システム開発の文脈（※26）でいえばレベル1、レベル2の方法はボトムアップ型であり、レベル3はトップダウン型である。またこれら各レベルは投入可能人員、時間によって短期開発、中期開発、長期開発にわけられるが、ここでは一応それぞれレベル1、レベル2、レベル3に対応しているものと考えておく。

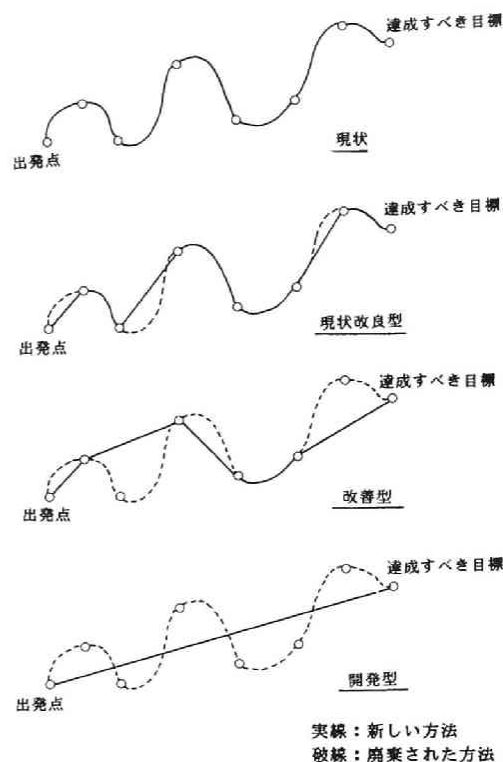


図1.3 最適化方法の三レベル

1.3.1 研究の目的

本研究の目的はまず集合住宅プロジェクトの意思決定過程の実態を企画・設計段階から施工、維持保全までの各プロセスにわたって考察し、決定過程の論理構成を明らかにすること。次に基本設計プロセスにおける集合住宅プロジェクトの最適化に関する合理的で体系的な方法を確立することにある。

基本設計プロセスでは後続プロセスである工事費計画、施工計画、維持保全計画策定の論理構成は明確でなく、考慮されていない場合が多い。そこで後続プロセスでの実際の決定問題に立ち入り、そこでの決定過程の論理、あるいは非論理をつかみ、基本設計プロセスでの計画に生かすことを考える。そのため建築生産プロセスの各プロセスの決定過程を扱う。

古川修は指摘している。「現状の組織上の建前のなかでも、工事技術情報の整備、その

設計者への提供のされ方に適切な方法とルールが設けられるなら、設計業務としての工事計画は成立するだろう。……これらの背景として、工事方式選択の基準となる論理が準備されなくてはならないだろう。」（＊ 3 1）

企画・設計段階のうち基本設計プロセスでの最適化をとりあげるのは、企画プロセスではプロジェクトが決定に十分な程度に物的な形をとらず、工事費計画、施工計画、維持保全計画の概略の検討が一定程度困難であること、また実施設計プロセスではプロジェクトの細部が確定されるため、個別にはより最適化されるが全体としての検討が困難になることによる。ただし第7章で述べるように、プロジェクトの最適化には企画プロセスから一貫した整合的最適化への検討が不可欠であるため、企画、実施設計プロセスに踏み込んだ議論も必要に応じて行う。

また合理的で体系的とは決定過程が論理的であること、そして評価基準が明確で主観が入らないことにおいて合理的であり、建築生産プロセスの全体、建築チームの全体を含むことにおいて体系的である。

1. 3. 2 研究の範囲

本研究は前述の方法の三つのレベルのうち、レベル1を扱う。その理由は次のとおり。

（1）我々はいまだに建築生産プロセスを一定程度以上に正確に記述することすらできていない。記述するとは各プロセスへのインプット、アウトプット及び変換過程を明らかにすることである。一定程度正確とは集合住宅プロジェクトに限れば、設計チームが異なろうとその情報の種類、内容においてさほどの差異がないことである。たとえば基本設計が終了した段階で出力された設計内容はその範囲、詳細の程度、関連業務への配慮などの点で現状は設計チームによって著しく異なる。

従ってレベル2、3の方法を直接に指向することは実態のないシステム開発になる可能性を潜在させる。

（2）当面は各プロセス、あるいはさらに細分化したプロセスの中での論理的思考、客観的評価を重視した方法をめざす。それでも論理的思考過程を正確に記述しようとするれば、対象を相当程度限定してかからねばならない。

（3）また細分化されたプロセスにせよそこに投入される技術、資機材、労働力は前節でふれたとおりますます多種・多様になっており、さまざまなやり方、組合せが考えられる。且つ個人的経験、知識だけでは最適なやり方、組合せが達成できない。従ってレベル1の

方法はその重要性、緊急性が増している。

(4) 中、長期的な視野に立ったレベル2、3の開発は当然に必要である。しかしそれらはもう少し建築生産プロセスの記述が正確になり、また現状改良型の方法がさらに開発されるのを待たざるを得ないとする。

(5) そこで本研究ではレベル1の方法を開発すると同時にそれらを使ったプロジェクト最適化の方法を論述することにする。

本研究の範囲を簡単にまとめると次のとおり。

■集合住宅プロジェクトの意思決定過程の実態の記述

- ・企画・設計段階から維持保全にわたる全プロセス

■集合住宅プロジェクトの整合的最適化方法の確立

- ・建築生産プロセスでいえば基本設計プロセス、場合により一部実施設計プロセスを含む。
- ・最適化の方法は現状改良型
- ・最適化の範囲は企画・設計から維持保全に至る全体
- ・建築計画学という設計論、設計方法論は含まない。(*30)
1. 1 節の定義にいう計画を扱う。

もちろん基本設計という建築生産プロセスの川上にのぼればのぼるほど、入手できる情報は少なく、未だ確定していない事項も多い。不確実性の度合いが高い。これらの主要な要因を操作可能なものとし、プロジェクトの基本設計プロセスで工事費計画、施工計画、維持保全計画の情報を先取りする形で事前計画として予備的に検討することによって、プロジェクトの最適化に一步でも近づけることが可能であるとする。

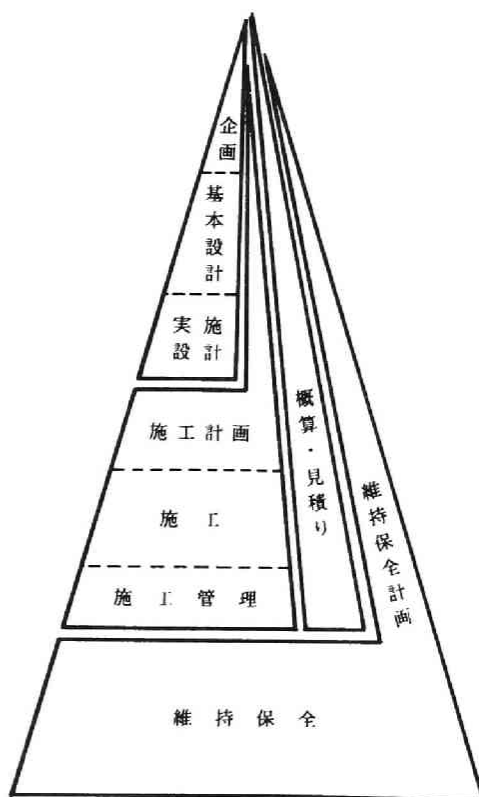


図1.4 後工程情報の先取り

1. 3. 3 本研究の概要

まず細分化されたプロセス、意思決定の場面の現状を具体的な集合住宅プロジェクトを通して考察している。そこでは論理的な部分とそうではない部分、各プロセスの相互依存関係などの問題の構造を明確にし、決定過程の分析を行っている。

つぎにプロジェクト全体の最適化の方法論上の問題について論述している。多目的性、全体最適と部分最適の関係などの検討後、プロジェクトの企画・設計段階で事前計画として施工計画以降のプロセスの概略の計画、分析を行い、最適化の方向づけを行うことが重要であると結論づけている（図1.4）。ここではプロジェクトの最適化には工事費計画、施工計画、維持保全計画を中心とする基本設計の最適化が特に重要であるとして、本研究で現状改良型として開発した方法の位置づけを行っている。

具体的な現状改良型の方法は①設計最適化のための工事費概算システム、②施工計画の主要部分、工種の計画システム、③維持保全戦略と費用決定のための計画システム、からなる。

1. 4 本論文の構成

本論文は2編12章からなる。各章の関係は図1.5に示すとおりである。

第1章 序論では、まず本論文で使用する用語の定義を行い、建築プロジェクトの特徴及び状況の変化について触れ、その中でプロジェクト最適化のためにはプロジェクト全体の体系的、合理的なとらえ方、方法を開発しなければならないことを明らかにしている。つぎに本研究の目的、方法、範囲を示し、プロジェクトの対象として集合住宅をとりあげ、研究対象を建築生産プロセスの中で基本設計プロセスを中心とすることなど明確な位置づけを行っている。

つづく第I編では、現実の集合住宅プロジェクトにおいて発生する決定問題（ときにそれは最適化問題となる）の実態を企画・設計段階、施工段階、維持保全段階に分けて論述している。具体的には

- (1) 現在の建築生産プロセスのフローチャートを示し、一般的な問題点の指摘を行い
- (2) より具体的な決定問題の分析を行うための方針を示す。（第2章）
- (3) その方針に基づいて次のような決定問題の分析を行う。

第3章の企画・設計段階では

- ①設計施工競技方式による団地建設プロジェクトの基本設計での決定問題

②設計施工競技方式による団地建設プロジェクトの実施設計での決定問題

③設計施工一貫方式における基本、実施設計での設計、仕様の決定問題

第4章の施工段階では

④大規模集合住宅プロジェクトにおける工期決定問題

⑤建築部品の生産、供給問題

⑥内装プレハブ工事の工数計画問題

⑦内装プレハブ工事の施工体制決定問題

⑧複数発注者の関与するプロジェクトでの設計変更処理問題

第5章の維持保全段階では

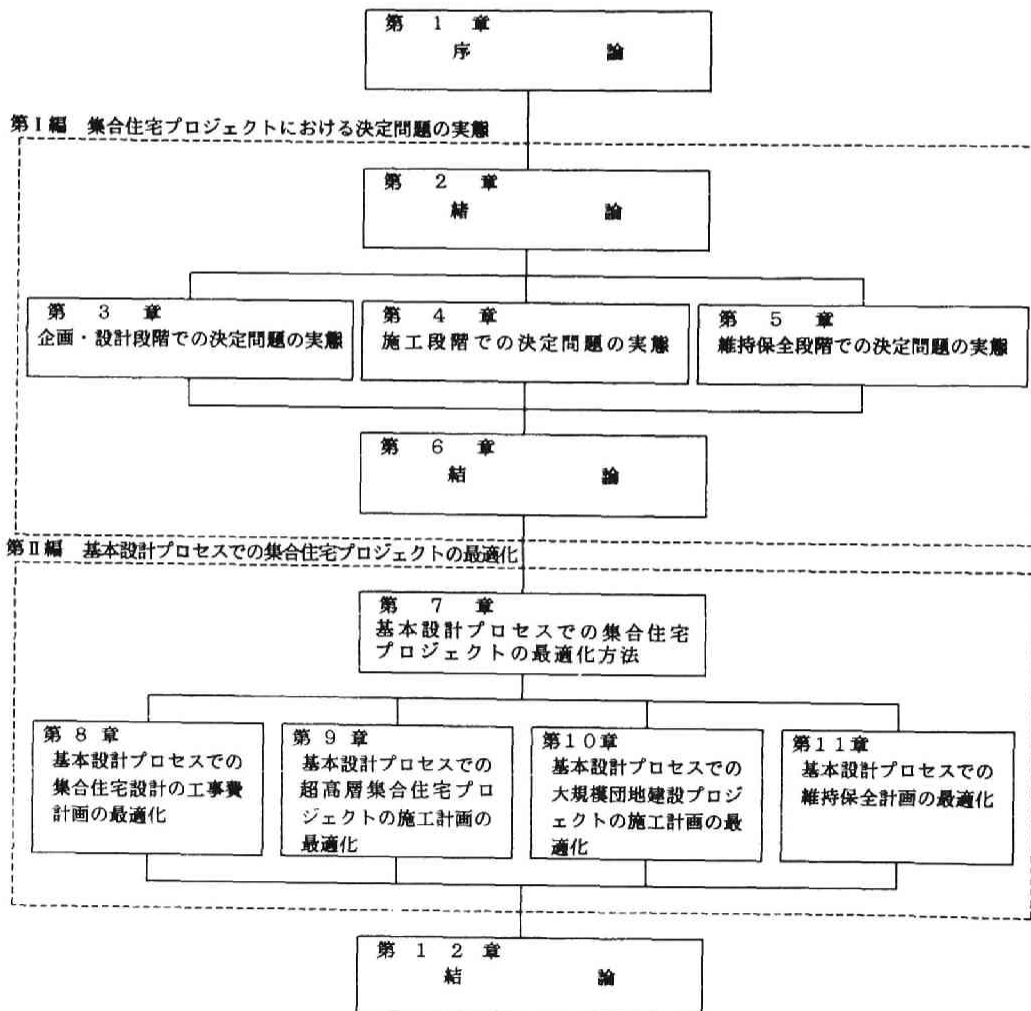


図1.5 本論文の構成

⑨中高層集合住宅の修繕計画決定問題

⑩中高層集合住宅の修繕実態

- (4) 具体的な決定問題の実態から得た知見を示し、まとめとして問題を整理し、最適化に必要な条件を示す。(第6章)

第Ⅱ編では本論文でいう集合住宅プロジェクトの最適化について論述する。

まず第7章では集合住宅プロジェクトの最適化方法について総論的に論述する。具体的には

- (1) 集合住宅プロジェクトの最適化には工事費計画、施工計画、維持保全計画を中心とする最適化が必要であることを指摘する。
- (2) その最適化の方法論上の問題として多目的評価、全体最適と部分最適、定性的もしくは表現されにくい問題の扱いがあることを示す。
- (3) その上での最適化方法について論述する。
- (4) その最適化方法において第8章～第11章の部分最適化問題の位置づけを行う。

第8章では工事費計画の最適化のための工事費概算システムを開発し、基本設計プロセスで設計者が各種の建物形状、規模の設計案を作成するのに対して、タイムリーに概算数量が算出できるようにし、経済性の面での設計支援をはかる方法を示し、実証的に検討している。具体的には

- (1) 基本設計プロセスでの工事費概算問題を記述し、
- (2) 多変量解析による概算モデルを中心とした工事費概算システムを開発し
- (3) 具体的なプロジェクトへの適用とその結果について論述する。

第9章、第10章では基本設計プロセスでの概略施工計画の最適化の問題として工事、工程計画の主要部分である揚重計画をとりあげる。第9章では超高層プロジェクトに代表されるような建築物としては1棟でありながら、その建築面積、高さ等規模の大きいものをとりあげる。具体的には

- (1) 単独棟クレーン配置計画問題の記述をし、前提、制約条件を明らかにする。
- (2) 施工現場モデル、建築物モデル等各種モデルの構築を行い、
- (3) それらを使った最適化の手順を示し、
- (4) プロジェクトへの適用とその結果について論述する。

第10章では団地建設にみられるような、集合住宅を多数同時に施工するといった面的

広がりを持ったプロジェクトへの資源配分をクレーン配置計画問題を例に論述する。具体的には

- (1) 多数棟クレーン配置計画問題を記述し、前提条件、制約条件を明らかにする。
- (2) クレーン投入計画用のシミュレーションモデルを作成し、棟数と投入クレーン台数との関係を明らかにする。
- (3) それらを使った全体の配置計画決定モデルを構築し、最適化の手順を示す。
- (4) プロジェクトへの適用とその結果について論述する。

第11章では基本設計プロセスでの維持保全計画の最適化について建築物の部位、部分の最適化を例に論述する。具体的には

- (1) 維持保全問題の記述を、劣化関数と修繕区分、劣化量と修繕費の関係などの点で行い、既存のモデルでは対応できないことを指摘し、
- (2) 維持保全計画立案のための各種修繕モデルを開発し、
- (3) それらのモデルについて変数の感度分析を実施し、
- (4) シミュレーションの結果について論述する。

第12章 結論は本論文のまとめであり、各章で明らかになったことをふまえ、本論文で提案している集合住宅プロジェクトの最適化方法の妥当性と有効性について論述する。さらに、全体としての実用化のための課題について指摘する。

参 考 文 献

- * 1) 古川 修, 永井規男, 江口 禎: 建築生産システム (新建築学大系 4 4), 彰国社, 1982
- * 2) たとえば; 鹿島守之助: わが経営を語る (第 3 集), pp.21~92, 鹿島研究所出版会, 1971
- * 3) たとえば; 中井新一郎: 法規改正への関心, 建築士, pp.22~23, 日本建築士会連合会, 1964.11
- * 4) 古川 修: 建築生産の工業化 (建築学大系 3 建築経済), pp.336, 彰国社, 1974
- * 5) 総理府統計局: 住宅統計調査, 1973
- * 6) 平凡社編: 『大百科事典第 5 巻』, 1984
- * 7) 遠藤健児, 島田邦雄: 生産と設計 (現場マンの管理技術シリーズ), pp.2~6, 日刊工業新聞社, 1965
- * 8) 労働省職業安定局監, 雇用促進事業団建設労働部編: 建設技能職種と用語の解説, 雇用問題研究会, 1980
- * 9) 日本建築積算協会編: 建築積算教程 1 基礎課程, pp.44~47, 森北出版, 1979
- * 1 0) 建設省計画局建設業課編: 建設業関係法規集 1 建設業法, 大成出版社, 1985.3.10 現在.
- * 1 1) 前出 4) pp.321, 332
- * 1 2) 星野芳郎: 技術革新第二版, pp.73, 岩波新書, 1977
- * 1 3) 古川 修: 技術変化と建築産業の組織, pp.119~133, 建築の技術 施工, 彰国社, 1975.1
- * 1 4) 東樋口、古阪他: 部品化による住宅供給体制の変化, pp.361~384, 建築技術, 1976.11
- * 1 5) 土谷耕介: 建築生産における技術の普及パターンとその影響について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 日本建築学会, 1985.10
- * 1 6) 中岡哲郎: 技術を考える 1 3 章, pp.57, 日本評論社, 1981
- * 1 7) 古阪秀三: 建設業と意思決定, 建設業振興, pp.25~29, 建設業振興基金, 1982.6

- * 18) 田村 恭：管理技術の組織化，建築雑誌（建築年報；活動編），pp.103～105，
日本建築学会，1980
- * 19) 日本建築学会建築計画委員会，設計方法，彰国社，1974
- * 20) 日本建築学会建築計画委員会，設計方法Ⅱ（設計プロセス・ケーススタディ），
彰国社，1973
- * 21) 日本建築学会建築計画委員会，設計方法Ⅲ（設計プロセス），彰国社，1974
- * 22) 日本建築学会建築計画委員会，設計方法Ⅳ（設計方法論），彰国社，1981
- * 23) たとえば；日本建築学会近畿支部：芦屋浜団地建築における生産管理システムの
調査研究Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，日本建築学会近畿支部，1976～1979
- * 24) たとえば；二階 盛：超高層建築における工程計画の合理化と工法の開発に関
する研究，学位論文，1966
- * 25) たとえば；片寄俊秀：ニュータウンの建設過程に関する研究，長崎造船大学研
究報告刊行委員会，1977
- * 26) 春名 攻：情報処理機器を活用した土木工事のマネジメントシステムの開発
方法について，土木工事のマネジメント問題に関する研究討論会講演・資料集，
pp.7～14，土木学会，1984.11
- * 27) たとえば；B. S. ブランチャード著，宮内訳：ライフサイクル・コスト計算
の実際，日本能率協会，1979
- * 28) たとえば；B. S. ブランチャード著，石川島播磨重工業訳：ロジスティックス，
日本能率協会，1979
- * 29) たとえば；department of industry, committee for terotechnology: TEROTE-
CHNOLOGY, 1975
- * 30) 前出 19)，20)，21)，22)
- * 31) 古川 修：工事計画と建築生産，建築と社会，1970.6，pp38-42，日本建築協
会

第 I 編 集合住宅プロジェクトにおける決定問題の実態

第 2 章 緒 論

第 3 章 企画・設計段階での決定問題の実態

第 4 章 施工段階での決定問題の実態

第 5 章 維持保全段階での決定問題の実態

第 6 章 結 論

第Ⅰ編 集合住宅プロジェクトにおける決定問題の実態

第2章 緒論

2.1 はじめに

第1章では建築プロジェクトの特徴と問題点をあげながら、プロジェクトの最適化との関連について論述した。建築チームが分立し、建築生産プロセスが分断されている状況では、整合的最適化は外的に検討しなければならないことを指摘し、そのためまず集合住宅プロジェクトの意思決定過程の実態を生産プロセス全体にわたって明らかにし、その論理構成を検討する。その後プロジェクトの整合的最適化方法について考察することとした。

従って第Ⅰ編では現実の意思決定問題を企画、基本設計プロセスから維持保全プロセスに至る各プロセスで検討する。とりあげるプロジェクトは一例を除き、設計施工一貫方式で実施されたものである。設計施工一貫方式は分離方式に比べ、設計と施工がより緊密に結びついており、工事費計画、施工計画などの支援が得られやすいと目され、一般にもそう評価されていることが理由である。

決定問題には前後のプロセスと強く関連し、基本設計プロセスから概略にせよ計画すべき内容とそうでないものがある。基本設計プロセスだけをとり出しても工事費計画、施工計画、維持保全計画を中心とした各種の計画問題があり、相互に関連している。そこで問題をできる限り詳細に検討し、決定過程の論理構成を明確にする。そして工事費計画、施工計画、維持保全計画間の整合性、前後のプロセスとの一貫性について考察し、基本設計プロセスで何がどのような論理構成で決定されているかについて論述し、第Ⅱ編で開発、提案する最適化方法の基礎とする。

まず本章では集合住宅プロジェクトの最適化の方法を議論する場合の関連する事項の定義をし、典型的な建築生産プロセスの現状と問題点について一般論を展開する。次に次章以降本編で扱う具体的な決定問題をいかなる観点、方法でもって分析するかの方針を明らかにし、問題の構造化の概念を示す。第3章以降は具体的な決定問題の分析である。第3章は企画・設計段階での決定問題の実態を扱っている。まず3.1節では集合住宅プロジェクトが設計施工競技方式で実施された事例における応募案作成段階での物的設計、価格、生産システムの決定問題を扱う。3.2節では3.1節の応募案が現実の実施案として確定されていく過程の決定問題を扱う。基本設計から実施設計に至る過程である。結論的に

は物的設計、価格、生産システムが整合的に最適化されるものでなく、個別、独立的に現実化されている。3.3節では設計施工一貫方式において設計図、仕様書が確定されていく問題を扱っている。設計者としては仕上工事等に自由度を大きく残すため、初期の基礎、躯体工事費を極力おさえる方向に振舞う可能性が強く、全体としての最適化をめざすものでない。第4章は施工段階での決定問題の実態を扱っている。4.1節では大規模集合住宅プロジェクトの工期決定問題を二つの問題に分解して扱っている。一つは契約工期決定の問題、二つは技術的、経済的工期決定の問題である。さらに後者の問題では揚重用クレーンを中心とした工程計画問題を取りあげ、その間の論理的手順の解明をしている。契約工期、金額は基本設計的性格の強い設計図、仕様書に基づいて決定され、実際の施工段階で技術的、経済的な工期を契約工期内で自由に決定する必要性、あるいは自由に決定する可能性がある。しかしその過程は契約と施工計画の関係において契約工期追随型である。4.2節ではP C a板製造の現場サイト工場の生産計画と施工計画との関係についてメーカー型生産計画と比較しながら、その違いについて論じている。4.3節では工事費と施工計画の関係について扱う。工事費概算段階の施工計画は係数処理が大勢で、仮定的にせよ施工計画が検討されることは稀であること、新規性の強い工事には甘い計画数量が採用されることが多く、結果として工事費は高くなることを指摘する。4.4節では内装プレハブ工事の施工体制決定問題を扱い、その特徴を具体的な目標が設定されにくい決定問題として考察している。4.5節では設計変更問題を扱う。設計変更は本来契約金額の変更を伴うことが多いが、実態上は設計変更の決定時期、変更行為の実施時期、契約金額の決定時期・方法に相当程度のずれがあり、いわば「物」の決定と「金」の決定が独立的である。第5章は維持保全段階での決定問題を扱っている。5.1節では維持保全プロセスでの修繕計画策定問題を扱い、計画修繕の用語の整理と計画策定過程、修繕実施の意思決定過程を明らかにする。5.2節では集合住宅の修繕実態を公的住宅を例にあげ、修繕工事費と修繕行為の関係について論述する。第6章は本編のまとめである。物的設計、工事費計画、施工計画、維持保全計画、これらは個々に、独立的に検討され、全体として相互依存の関係が組み込まれることは少ない。しかし個別の事例をみれば、その相互依存の関係の存在は明らかである。これら各プロセスとプロセス間の関係は既にルール化、プログラム化された部分とそうでない部分が存在しており、短期的にはこれらの部分の整合的プログラム化が重要である。またいわゆる情報のフィードバックでは建築プロジェクトの一回性、個別性を考えればタイミングの点で遅くなる可能性が強いとして、先行的な分析を

行って、情報の先取りによって最適化を指向する方法を確立すべきだと結論づける。

さてここで本編で使う用語の定義をしておく。主要な用語である〈プロジェクト〉、〈最適化〉、〈プロジェクトの最適化〉は既に1.1節に定義したので繰り返さない。

- (1) 企画・設計段階…第1章で建築生産プロセスを8つのプロセスに分割した。(図1.1) ここで企画・設計段階とはそのプロセスのうち企画、基本設計、実施設計の各プロセスの総称である。
- (2) 施工段階 ……同様にして施工計画、施工、施工管理の各プロセスの総称である。
- (3) 施工計画 ……施工計画、管理に類する用語は「施工管理(*1)」、「施工計

| 施 工 工 事 作 業 | | | |
|-------------|------|------|--------|
| 施工計画 | 工事計画 | 作業計画 | 計 画 |
| 施 工 | 工 事 | 作 業 | 実 施 |
| 施工管理 | 工事管理 | 作業管理 | 統 制 |

注) 施工：周辺環境，法規制，対外折衝等を含む
 工事：直接工事の部分（型枠，鉄筋コンクリート等）
 作業：工事のうち部分，部位，要素（型枠組立，解体，小運搬等）
 管理：計画，実施，統制（狭義の管理）を含む

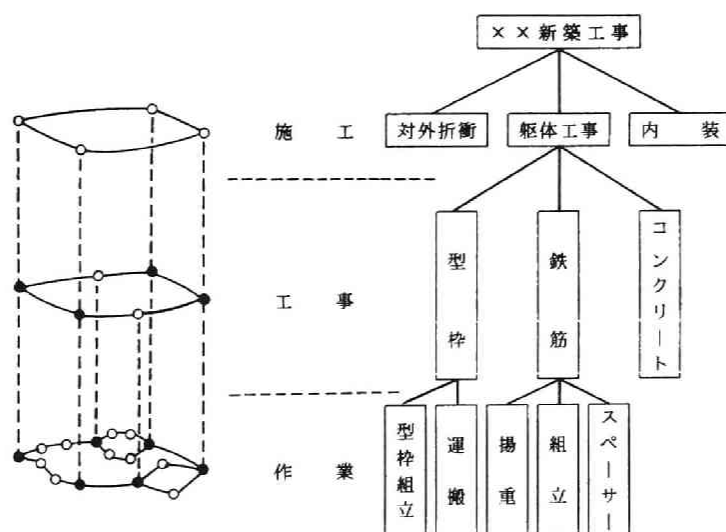


図2.1 施工・工事・作業の範囲と階層性

画（＊２）」、「工事計画（＊３）」、「工事管理（＊４）」等
未整理のまま使用されており、準拠すべきものがない。ここでは
図２．１に示す形でその階層性と範囲を定める。

（４）管理技術 ……OR、IE、QC、EE、VE、PERT、SE等に代表される
マネジメント、生産の領域に適用される基本的な技術群。

（５）固有技術（＊５）……材料、力学、設備などの設計から施工にいたる固有の技術で主と
（ハード技術） して物の生産、加工、施工に直接かかわる技術群、たとえばコン
クリート打設技術、掘削技術など。ハード技術ともいう。

（６）ソフト技術 ……管理技術を包括するが、管理技術が主として限定的、分析的立場
をとるのに対してソフト技術には総合的（＊６）なもの、無限定
の領域を扱う技術も入る。無限定な領域とは扱う領域があまりに
複雑であるため、厳密に統御した実験を設計することが不可能で、
定量的モデルを立てることが難しく、未知の要因が支配している
ような領域である。（＊７）

（７）ハードシステム方法論…現実世界の問題に取り組むシステム論的方法論で“システム
（＊８） 工学”とも呼ばれているもの。この方法では、目標あるいは達成
すべき目的は所与とする。このときは与えられた目標を達成する
べきシステムが設計できる。

（８）ソフトシステム方法論…現実世界の問題に取り組むシステム論的方法論で、そこでは
望ましい目標、達成すべき目的は所与とすることができない。

２．２ 集合住宅プロジェクトのプロセスフロー

建築生産プロセスの端的なものはすでに図１．１にふれたとおりであるが、これをより
具体的、現実的な表現にしたのが図２．２である（注１）。

この図を通して現在の建築生産プロセスでの意思決定の特徴をまとめると次のようであ
る。

（注１） 同図は大手建設会社のTQC資料（＊９）から借用したもので、現在運用され
ているシステムの中で比較的整備されたものの一つであり、現在のところ最善に近いが、
ここではやや批判的にみる。但しこれは設計施工一貫方式の例で、現行システムの典型で
はないが、やや統合された例として引用した。

〔設計施工一貫方式〕

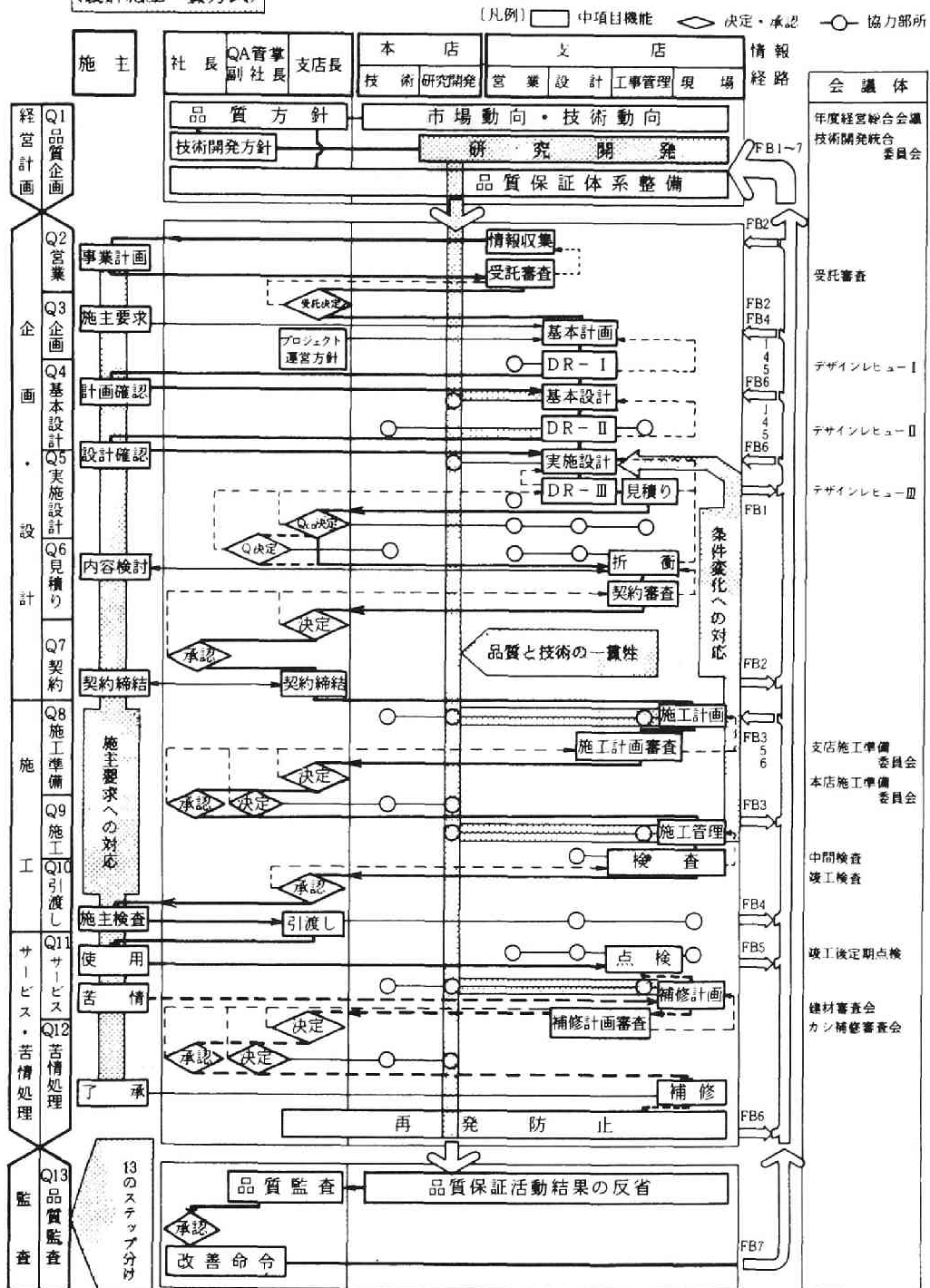


図2.2 現実の建築生産プロセス(*9)

(1) 意思決定の場面、主体の多種・多量さ

建築プロジェクトの特徴の一つに建築チームの臨時性、設計図、仕様書がプロジェクト毎に作成されることがあげられる。これは設計施工一貫方式においても例外ではない。従ってプロジェクトの全体に亘って『物』の設計、『そのつくり方』の計画、『使い方』の計画をその都度しなければならない。決定の場面は生産プロセスの全体に存在し、関係する主体は多い。図2.2はこれらを有機的に結びつけたものである。

(2) フィードバック機能の導入

前工程追随型の建築生産プロセスにフィードバック機能を取り入れることによって情報を還流させることは基本的に重要なことである。しかしその利用のしくみを合理的に設計しておかなければフィードバック機能を効果的に生かすことができず、単なる情報収集に終始することになる。また設計施工分離方式も施工チームから設計チームへのフィードバック機能は必ずしも存在しているとはいいがたい。

さらに、プロジェクトが一回性であることを考えれば、生産プロセスが相当程度先に進んでからのフィードバックはタイミングの点で問題なしとしない。図2.2を例に示すと、たとえば基本設計プロセスへのフィードバックはFB1, 4, 5, 6となっている。FB1は実施設計後のデザインレビューを経た、もしくは見積りを経た（いずれかは判然としない）フィードバックである。端的には基本設計と実施設計の両プロセス間での物的設計内容の詳細化である。FB4, 5, 6はいずれも竣工、引渡し後のフィードバックであり、事実上当該プロジェクトでの還流は考えられない。他のプロジェクトからの情報である。

またFB2のように施工段階の情報がフィードバックされる場合、その中心は他のプロジェクト向であり、当該プロジェクトの設計段階向ではない。仮に後者であれば、それはタイミングを失するか、あるいは必要以上に設計内容の大巾な変更を伴うことになる。

従って建築生産プロセスの前工程追随性を解消するための機能として導入されているフィードバックは重要であり、特に後続の他のプロジェクトにとってそうであるが、おのずとその限界がある。当該プロジェクトにとっては基本設計プロセスで基本設計以降のプロセスの計画の概略を事前に検討できるしくみを持っているならば、ミスタイミングを防ぎ、実質的な設計変更を基本設計プロセスで行うことができる。

(3) 企画・設計段階には数回のデザインレビューのプロセスが存在する。

デザインレビュー（設計審査）とはJIS Z 8115 信頼性用語によれば「アイテムの設計段階で、性能・機能・信頼性などを価格、納期などを考慮しながら設計について審査し改

善を図ること。審査には設計・製造・検査・運用など各分野の専門家が参加する。」である。建築プロジェクトの場合、通常、設計と施工は分立しており、この定義の意味のデザインレビューは可能性が乏しく、設計者個人もしくは設計チーム内で適宜処理されていた。プロジェクトの複雑化、多様化は必然に設計の手もどり、再検討を多発させることとなり、組織としてデザインレビューにとりくまざるを得なくなったと解される。建築分野でのデザインレビューの内容は未だ定まったものはないが、品質面のレビューがその中心にある。

(4) 生産設計は施工計画に委ねる。

デザインレビューに生産設計が欠けているとすれば、その機能は施工計画プロセスで達成されることになる。しかし上述したようにそのタイミング、影響の度合の点でフィードバックは一定の困難を伴う。

(5) 維持保全計画は見当らない。

図2.2にいうサービス・苦情処理段階は本論でいう維持保全プロセスと解されるが、その段階に至っても維持保全への配慮はない。単にカシ補修という意味での補修計画が定められているにすぎない。維持保全プロセスは建築生産プロセスから分離された形で建築主が独自に行うことになる。ここには生涯費用の考え方はなく、安全性設計、信頼性設計もその検討範囲としていない。

(6) このようにみえてくると図2.2に示された現状の生産プロセスは一面性と表面性(*10)で特徴づけられる。すなわち、品質面だけをことさら重視している点で一面的であり、計画問題の全体がみえてこない。一方施工計画、維持保全計画等が企画・設計段階で欠落している点およびそれらの階層構造が明確にならない点で表面的で計画問題の段階的な最適化への手順が欠落している。端的には一回限りの検討で実行解が求められるシステムとなっており、実行可能解の存在は予見としてあり、最適性の保証はない。

(7) 結論としてフィードバック機能が入り、デザインレビューが実施されるなど部分的な改善はすすんでいるが、全体としてはやはり前工程追随型であることは否めず、改善の余地の大きいことが予想される。

以上実際に建築プロジェクトのプロセスの現状と問題点について概観した。次にこれらをより具体的な意思決定の場面に即して論述する。そこでまず決定問題分析の方針を示す。

2.3 集合住宅プロジェクトの各種決定問題分析の方針

2.3.1 問題とは何か

各種の決定問題を扱う場合、問題の性格、とらえ方を明確にしなければならない。佐藤允一は問題は次のように多種多様であり、その概念を定義してかからねばならないとして、「問題とは、目標と現状の差（ギャップ）であり、解決を要する事柄である。」と定義している。（＊11）

- ① わからないこと……疑問、質問
- ② 困っていること……困惑、悶着
- ③ 変っていること……異常、逸脱
- ④ 達成すべきこと……課題、タスク
- ⑤ 論議すべきこと……課題、テーマ
- ⑥ 意見が分かれること…争点、論点
- ⑦ さしさわりのあること…障害、支障
- ⑧ どうにもならないこと…拘束、不条理

そして問題を図2.3のように分類する。

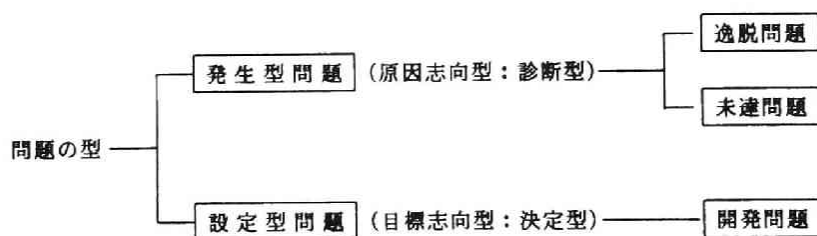


図2.3 問題の型（＊11）

発生型問題とはあらかじめ設定された目標と現状とのギャップで、これを二つに分け、一つは目標から現状が逸脱している状態の逸脱問題、二つは目標水準に現状が達しない状態の未達問題とする。一方設定型問題とは新しく設定された目標と現状とのギャップである。

また吉川和広（＊12）はS. L. Optner(オプトナー)の分類として次の2種類をあげている。一つは、

- ① 定形的問題 (well-structured problem)

② 非定形的問題 (ill-structured problem)

に分ける方法であり、他の一つは

① 定量的問題 (quantitative problem)

② 定性的問題 (qualitative problem)

③ 混合問題 (mixed problem)

に分ける方法である。

さて集合住宅プロジェクトの決定問題の多くは混合、非定形的問題である。また問題を「目標と現状のギャップ」とすれば、目標自体が明確でなく、目標の設定すら困難な場合が少なくない。2.1節の定義にいうソフトシステムである。この場合目標があいまいであり、問題として顕在化せず、潜在化していることが予想される。また目標がきわめて明快であっても問題が顕

在化しない場合も多い。たとえばあるプロジェクトの仮設工事に投下できる資金が a 円だとすると、 a 円を超える仮設計画が立案された場合には問題は顕在化するが、 a 円を超えない場合は問題は潜在化する。(図2.4)顕在

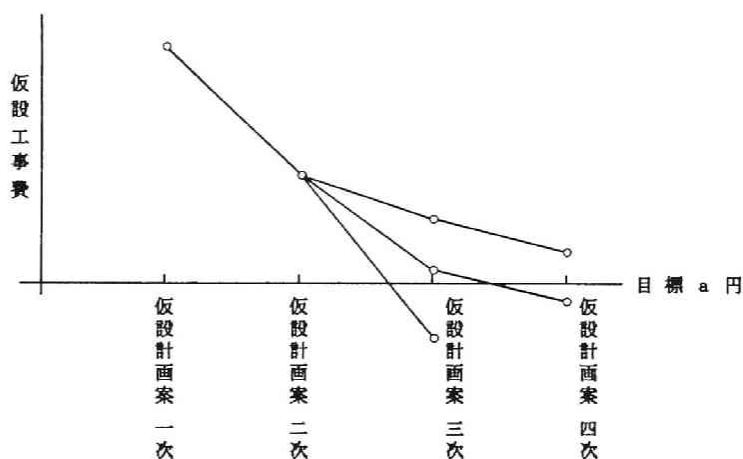


図2.4 仮設計画の問題

化した問題は仮設計画の数回の再検討で解決される。それでも目標を達成できない場合通常は目標が変更される。(図2.5)これは典型的な発生型問題である。

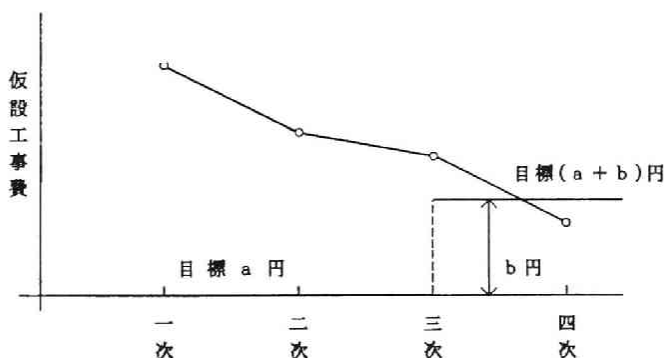


図2.5 発生型問題の目標変更

一方潜在化した問題は設定型問題として新た

に目標を設定しない限り、表面化しない。(

図2.6) 従って目標の設定如何で問題の状況は異なる。あまい目標は問題を潜在化させ、厳しい目標は問題を顕

在化させる。この種の問題を扱うには

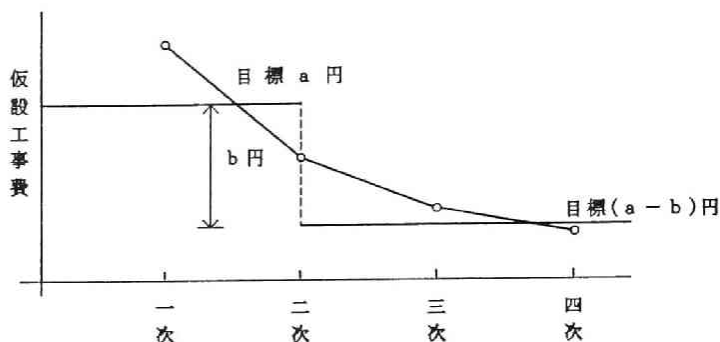


図2.6 設定型問題

- ① 目標を明確にあるいは設定する手法を開発する。
- ② 決定過程の論理を組立て、その合理性を追求する。

のいずれかによらねばならない。

2.3.2 決定問題分析の方針

問題は解決するためにある(*12)とはよくいわれる。そして問題解決へのアプローチも多くの方法が提案されている。(*14,

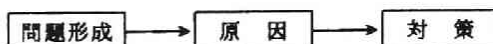


図2.7 問題解決の略式手順

15) 図2.7は問題解決の手順を3つのステップに簡便化して表現したもの、図2.8は8つのステップ

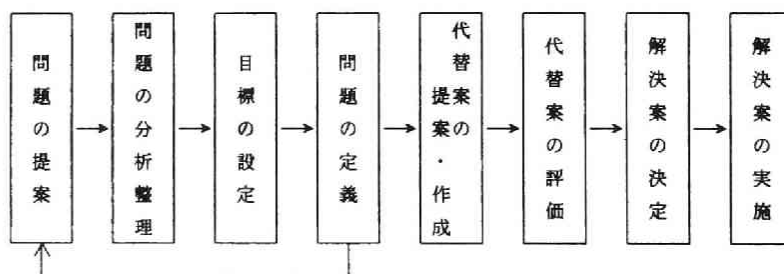


図2.8 問題解決の手順

で表現したもので

ある。最初の4ステップはループを形成しているが、これは次の理由による。発生型問題の場合は直ちに問題の探索に入ることが可能であるが、設定型問題の場合は目標を設定しなおさない限り問題とならないこと。目標が明確に設定できない潜在的問題の場合は「決定過程の論理を組立てる。」型の問題へと問題の定義を変更しなければならないこと。

いずれにせよ問題をどのように把えるかをまず明確にしなければならない。

集合住宅プロジェクトの各種決定問題を扱うには次の三つの観点が必要である。

(1) 決定問題には階層性がある。

目標には階層的構造がある。(＊17) プロジェクトの環境、制約には現実化の程度により概略から詳細への階層性がある。従ってそれらの階層性を明確にしなければならない。

(2) 決定問題の分析者の立場を明確にする。

決定問題はその立場によって当然目標とすることが異なる。場合によっては相反することもある。立場を明確にすることは問題の構造化の前提である。

(3) 決定問題の範囲を明確にする。

建築生産プロセスの中で対象としているプロセス、部分を明らかにすることによって、決定問題の前提、制約、環境を明確にすることが可能となる。

(図2.9)

集合住宅プロジェクトのこういった問題を研究するには、問題を系統的に表現し、問題の構造化(＊16)をはかる必要がある。問題の構造化の概念を図2.10に示し、以下

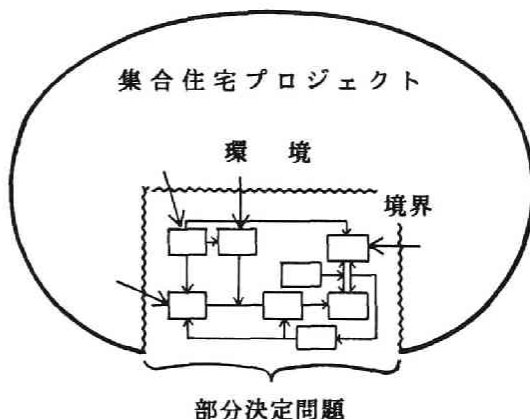


図2.9 決定問題の範囲

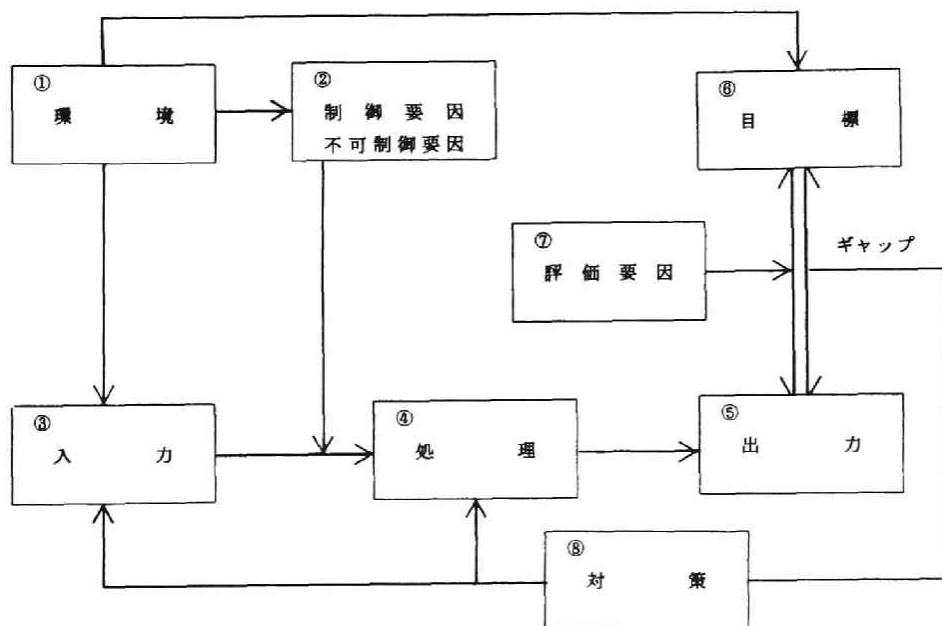


図2.10 問題の構造化の概念

簡単に説明を加える。(なお図2.10は佐藤允一の問題の構造化の概念を借り、一部追加して作成した。)

①環境は集合住宅プロジェクトをとりまく環境で、部分的な決定問題の場合には残余の部分の一部も環境に入る。

②制約には操作可能な制約(制御要因)と操作が不可能な制約(不可制御要因)がある。前者には資源の制約、時間の制約など定量的な制約と定性的表現による制約、たとえば「××してはならない」、がある。後者には自然の制約(天候など)、社会的な制約(法律、契約など)がある。また環境条件が制約条件に加わることもある。

③入力目標は達成するための手段で諸資源、機械などである。

④処理は入力を得て各種の制約を受けながら目標達成のために行う活動のことである。入力された資源、機械などをいかに使い、組合せ、実行していくかを決め、実施することである。集合住宅プロジェクトの場合、この処理の過程がブラックボックス(以後BBと略す)化しており、その論理構成を明確にし、あるいは確立する必要がある。次章以降で扱う決定問題の中心はこの点にある。

⑤出力は④の処理の結果であり、現状である。

⑥目標は環境の影響を受ける。たとえば受注競争が厳しい状況では目標利益は低くせざるを得ないといった関係である。しかし前述のとおり、目標が明確に設定できない問題も存在する。

⑦評価要因は出力および目標をいかなる点で評価するかを明らかにするもので、制約と同様に定量的要因ばかりでなく定性的要因も含まれる。

⑧フィードバックは問題がある場合に対策を講ずることで、対策の相手は入力、処理のいずれの場合もありうる。

以上の分析方針を基に次章以下に決定問題の諸側面を論述することにする。記述の方法は下記に順序に従って行う。

- (1) 対象プロジェクトもしくは決定問題の概要
- (2) 図2.10問題の構造化の概念に示された各要素の説明
- (3) 処理の論理的過程の詳述
- (4) まとめ

参 考 文 献

- * 1) たとえば；水野金市：建築施工，コロナ社，1974
- * 2) たとえば；斎藤次郎，他著：施工計画と仮設工事，建築施工講座1，鹿島出版会，1979
池田太郎，松本信二著：工事管理，新建築学体系48，彰国社，1983
- * 3) たとえば；鯉田和夫：最新建築施工，技報堂，1975
嘉納成男：新しい工程管理，施工 No.165，pp.83～98，新国社，1980.
1，pp.83～98，彰国社，
- * 4) 古川，東樋口，古阪訳，J.F.Woodward著：設計と工事管理の計量的手法，森北出版，1980
- * 5) 近藤次郎：管理工学，コロナ社，1977
- * 6) 坂本賢三：科学・技術・芸術，建築雑誌 vol.99 no.1228，1984.12，pp.16～21，日本建築学会，
- * 7) 高原，中野監訳，P.Checkland著：新しいシステムアプローチ，pp.65～82，オーム社，1985
- * 8) 前出7) pp.340
- * 9) 鷲尾文平，市原哲比古：施工段階における品質保証－ゼネコンの立場から，建築と社会，1983.4，pp.48，日本建築協会
- * 10) 松村，竹内訳，毛沢東著：実践論・矛盾論，pp.50～52，岩波書店，1984.9
- * 11) 佐藤允一：問題の構造学，pp.4～36，ダイヤモンド社，1984
- * 12) 土木学会編，吉川和広著：土木計画のシステム分析，新体系土木工学52，pp.10～17，技報堂，1981
- * 13) たとえば；宮川裕：問題解決の考え方，pp.6，産業能率短期大学出版部，1977
- * 14) 前出11) pp.19
- * 15) 田村恭：管理技術の組織化，建築雑誌（建築年報；活動編）vol.95 no.1169，pp.104，日本建築学会，1980
- * 16) 前出11) pp.74～112
- * 17) 吉川和宏著：最新土木計画学，pp.1～5，森北出版，1984

第3章 企画・設計段階での決定問題の実態

3.1 設計施工競技方式による団地建設プロジェクトの基本設計での決定問題

通常分離されている設計と施工とを結びつけ、統合することには次のような意義がある。

①生産技術の設計へのフィードバック、②効率のよい生産システム開発の可能性、③施工者の技術開発意欲の増大、④他産業からの技術導入の可能性、⑤設計施工管理一貫による施工者側責任の拡大と責任施工意欲の刺激。統合の方式としては①設計施工競技、②代案入札、③協議設計、④性能発注などがありうる。このうち設計施工競技方式は技術開発的要素の強いプロジェクトから既存の技術を最大限に生かすものまで幅広く含むことができ、その意味において応用性がある。また、性能条件の提示が不可欠である性能発注方式と比較して条件提示の面で弾力性を持たせることが可能であり、より現実的である。

このような意味から設計施工競技方式の場合、物的設計、価格、生産システムの整合性が典型的に表われ、外部からも観察しやすいため、基本設計での決定問題の例としてとりあげる。

3.1.1 対象プロジェクト及び問題の概要

(1) 対象プロジェクトの概要

対象プロジェクトの概要を提案競技募集要項（＊2）及び資料集（＊3）よりまとめておく。

①目的 本競技は市街地における高層住宅団地において、住宅等の工場化工法の開発を促進し、良質な高層住宅のコスト・ダウンを図るとともに、あわせて住環境の向上に必要な施設の整備を図り、もって国民の住生活の安定、向上に資することを目的とする。

②概要 兵庫県芦屋市に計画されている芦屋浜住宅団地の一部に競技対象地区20.3haを設定している。

競技は、建設省・兵庫県・芦屋市・日本住宅公団・兵庫県住宅供給公社・（財）日本建築センターの6者の主催。実施運営機関として、「工業化工法による芦屋浜高層住宅プロジェクト提案競技実施委員会」を設け、この委員会が競技の実施運営の基本的事項の決定を行なった。また審査は、実施委員会に設けた審査委員会がこれにあたった。

本競技に応募できる者の資格は、提案の実現、すなわち住宅や施設の生産・供給はもちろん完成後の管理に至るまで、すべてに責任と能力を持ちうる者とした。

書面審査等によって、優秀なものを選出してこれを「工業化工法による芦屋浜高層住宅プロジェクト提案競技入選案」として決定し、公表し、住宅、施設等の発注については、住宅、施設等の発注者で構成する発注者協議機関が入選案のうちから決定した。本節はこの競技に入選し、実施に移されたプロジェクトの提案内容を基本設計とみなして、その決定問題を取り扱う。応募案が入選し、提案内容が実施案として現実化されていく段階での決定問題は次節で扱う。

(2) 問題の概要

提案競技の応募案に要求された内容は主として物的設計と住宅価格の責任ある値付けと迅速に生産供給できる方式である現実的な生産方式の提案から構成される。そして応募案の審査の内容はそれら物的設計、価格、生産システムを含むものであった。つまり物的設計、価格、生産システムが整合性のあるものであることが要求された。本節ではこの三者の整合性を確認する。

3. 1. 2 問題の構造

ここでは応募案作成者の観点で問題の分析を行った。問題の構造を図3.1に示す。以下各要素について論述する。

(1) 環境

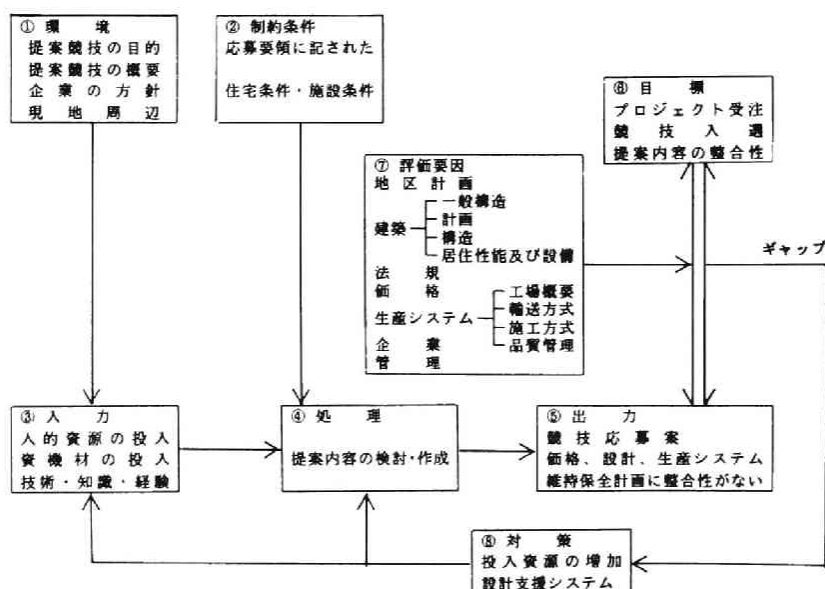


図3.1 問題の構造

前述の本提案競技の目的、概要はここで扱う問題の環境である。さらに企業の方針（応募する、入選を目ざす）も目標であると同時に環境となる。現地芦屋浜の自然条件、社会条件等はこの時点でさほど明確になっていないにせよ、やはり環境の一部である。

（２）制約条件

制約条件は入力と相互関係が強く、ある場合には入力ともなる。たとえば可能な投入技術者の数は当然のことながら上限がある。さて本競技の応募要領に記された住宅の条件、施設の条件はその全体が制約条件となる。但しそれらが制御要因か不可制御要因かは提案競技の性格上判然としない。概略を以下に記す。

A、住宅の機能、価格等

- （a）規模は表３．１の定めるところによる。
- （b）階数は１４階以上とすること。
- （c）浴室・洗面所・便所（水洗式）を設けること。
- （d）暖房・給湯の設備を備えること。
- （e）住宅の各部は、適当な耐久性をもち、維持保全が容易なものであること。
- （f）住宅の戸数・規模・価格の条件は表３．１のとおり。
- （g）住宅の価格は住宅主体の価格とし、昭和４９年１０月の価格とする。

表３．１ 住宅の戸数、価格

| 住 宅 の 種 類 | 戸 数 | 平均規模 | 価 格 |
|-------------|--------|-------|---------|
| 公共住宅（第１種）賃貸 | ６００戸 | ６０㎡以上 | ３５０万円以下 |
| 公団住宅 分譲 | １,０００戸 | ７０㎡以上 | ４６０万円以下 |
| 公団住宅 分譲 | ６００戸 | ８５㎡以上 | ５５０万円以下 |
| 公社住宅 賃貸 | ６００戸 | ７０㎡以上 | ４３０万円以下 |
| 民間住宅 分譲 | ６００戸 | 自 由 | 自 由 |

B、生産方式

- （a）Aの条件に適合する住宅を迅速に生産供給できる方式であること。実際の期間のめどとは基礎工事完了後２年間で完成させること。
- （b）労働力、とくに習得困難な技能労働力に対する依存度が低いこと。
- （c）品質管理、生産管理等の方式を備え、且つその遂行が容易なものであること。
- （d）販売及び施工を企業または企業連合で完全に実行できること。

C、関連法規等との関連

提案が現行の関連諸法令または関連諸基準の規定に適合しない内容をもつ場合に

においては、それらの規定に定めるところと同等以上の機能または工法等であることを実証できること。

(3) 入力

応募案を作成するために投入される資源、技術者、企業連合の技術、知識、経験など。

(4) 処理

物的設計、価格、生産システムの提案内容が作成されていく過程であり、その相互調整の論理、ルールが明確にされねばならない。現段階ではB.B.としておく。

(5) 出力

応募案の全体が出力の内容である。そして物的設計、価格、生産システムが整合的でないことが出力の結果である。整合的でないことは次項の処理過程で立証する。

(6) 目標

本競技に参加することの目標は図3.2に示すとおり。応募案作成者にとっては競技に入選することが最終目標であり、そのための手段として提案内容の整合性がとれていること、個々の審査項目の満足化、最適化がある。これが当面の目標である。

(7) 評価要因

競技主催者側の審査内容のそれぞれが満足化、あるいは最適化される必要がある。その主要な項目は次のとおり。

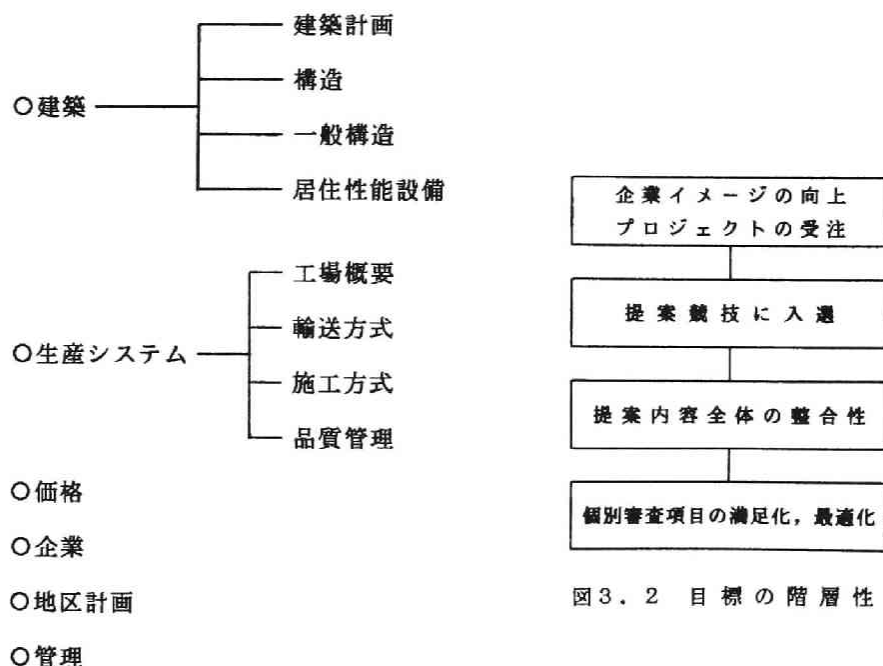


図3.2 目標の階層性

○法規

(8) 対策

提案競技に提出され審査の対象となった設計は設計図、仕様書の構成、種類、密度からみて、いわゆる基本設計に相当する。また提案は技術的に未完成の部分を含んでいる。提案競技の性格上そうした傾向が強い。さらに立地は決定しているとはいえ、地元周辺の諸問題は予測されないものが多い。これらの点で必要以上に詳細な提案を行うことには無理がある。概略の提案をすべきである。投入可能な人的、物的資源に限界があるとすれば、概略にせよ基本設計プロセスで価格、生産システムの計画を論理的に行う設計支援システムを構築しなければならない。そのことによって整合性のある計画の立案が可能となる。

3. 1. 3 処理過程

出力の結果は物的設計、価格、生産システムの整合性に欠けるものとなっている。従って処理の過程はそれらの整合性の確保として位置づけられるのではなく、物的設計は物的設計だけの詳細化、価格は価格としての確定化として個々に位置づけられる。

ここでは①価格決定のメカニズム、②物的設計と生産システムの関係について記す。

(1) 価格決定のメカニズム

さて応募条件は昭和49年10月現在の価格で表3.1のとおりである。一方提案された価格は昭和47年10月現在で表3.2に示すとおり。いま提案価格をA円(47年10月現在)、年値上り率 r 、49年10月換算値をB円とすると

$$B = A \cdot (1 + r)^2$$

上式を使って提案価格を提案条件と比較するために昭和49年10月現在値に換算すると表3.2右欄のようになる($r = 0.02$ を採用)。提案条件価格と提案価格は完全に一致する。つまり価格決定のメカニズムは提案内容の概算を積み上げた結果ではなく、提案条件価格に一致させたものである。

表3.2 目標価格比較表

| | 49.10月における 提案条件 | | 提案価格 | | |
|-----|--------------------|-------------|-----------------|-----------------|------------------|
| | 価格 (万以下) | 面積 (㎡以上) | 価格A (47.10月) | 価格B (49.10月) | 面積 |
| 公団Ⅰ | 460 | 70 | 442.0 | 459.9 | 81.30 |
| 公団Ⅱ | 550 | 85 | 528.6 | 550.0 | 94.25 |
| 公社 | 430 | 70 | 413.1 | 429.8 | 77.35 |
| 公営 | 350 | 60 | 336.3 | 349.9 | 66.67 |
| 民間 | 自由 | | 716.2 800.1 | 744.9 832.4 | 100.06 108.50 |

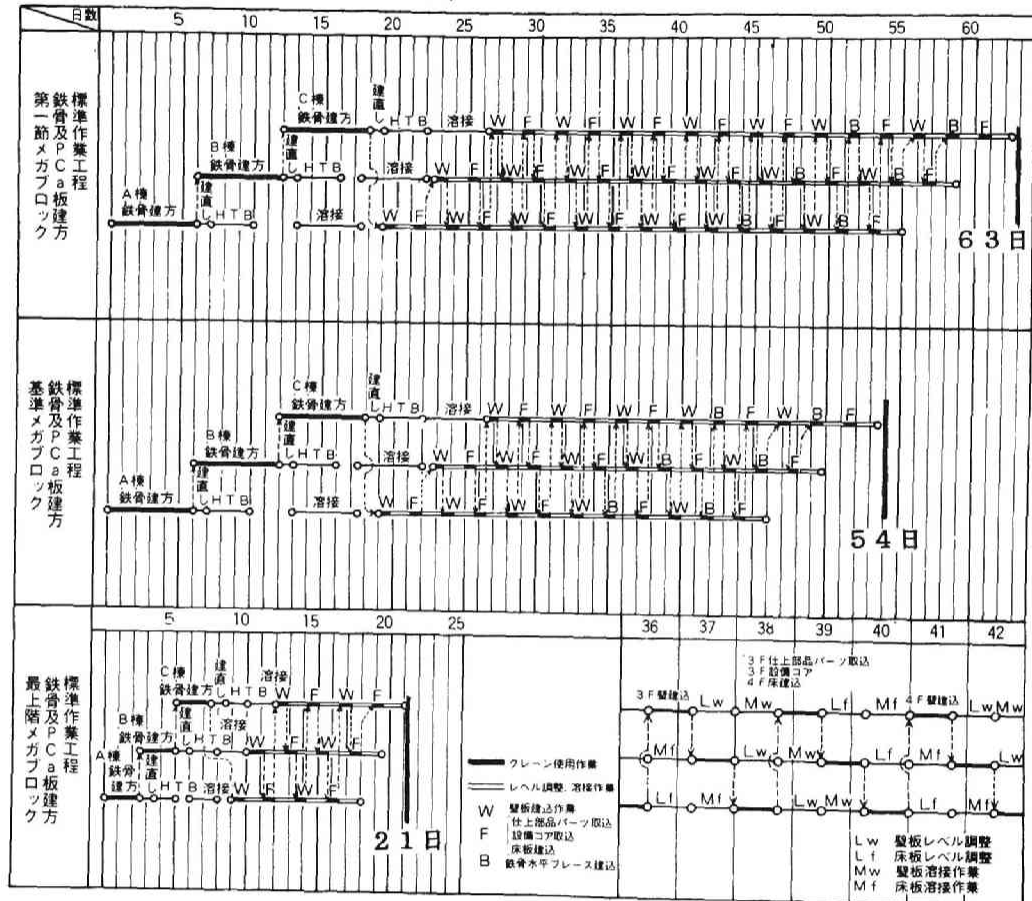
(2) 物的設計と生産システムの関係

ここでは生産システムのうち施工計画を取りあげる。

施工計画の主要な計画の一つは工程計画である。さらにその中心は躯体工事の工程計画である。本応募案の躯体はプレキャストコンクリート部材と鉄骨を組合わせたSPCである。従って躯体工事の工程計画は揚重設備、端的にはクレーン作業を中心に計画される。

(※5) 故に物的設計とクレーン配置の関係を扱う。

PCa板組立標準作業工程図(3棟1ブロックの例)



仕上工事標準作業工程

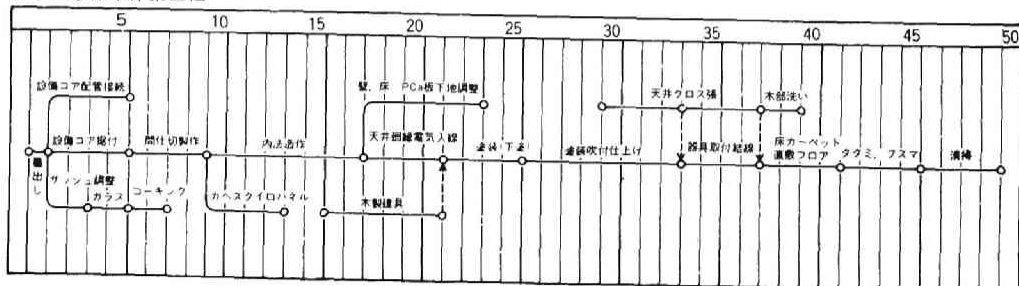


図3.3 標準的作業工程(※6)

応募案にみる標準作業工程、工程計画図を図3.3～3.5に示す。

さて図3.4の工程計画図によると、B-10ブロックの建方工程は層上で140日割当てられているが、PCa板組立標準作業工程図（図3.3）より実質所要日数を出すと

$$\begin{pmatrix} 63 \\ \text{第1節} \\ 7F \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 54 \\ \text{第2節} \\ 12F \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 21 \\ \text{第3節} \\ 14F \end{pmatrix} = 138日$$

となり、日曜日返上の工程となる。また図3.5のクレーン割当図によるとB-9ブロックは工程、位置からみて、同一クレーンによる建方ではない。

物的設計の実現を技術的に保証する施工計画がこのように矛盾しており、この二例から

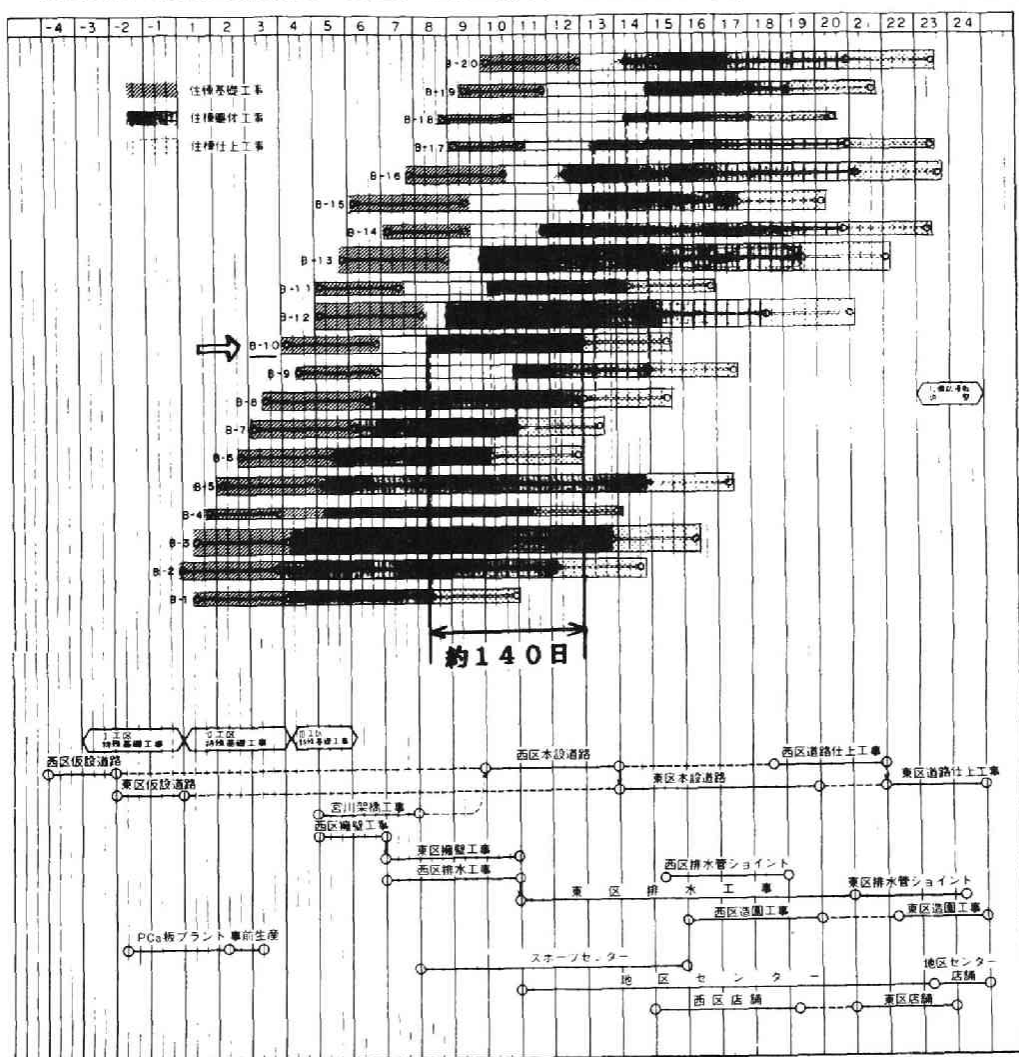


図3.4 工程計画図(*6)

みて物的設計と生産システムの整合性の欠除は明らかである。すなわち提案自体の抽象性と非現実性を示している。さらに生産システムの非現実性の上に提案されている価格も非現実的といわざるを得ない。このことは応募案が実施にむけて現実化される過程での大幅な変更を予想させる。これが次節に述べる問題である。

3. 1. 4 まとめ

このように考えると設計と施工を統合し、生産技術の設計へのフィードバック、効率のよい生産システムの開発などを意図した設計施工競技方

式も、応募案である基本設計プロセスではやはり設計提案競技の色彩が強い。現実には物的設計と施工計画が整合的に作成されるのではなく、物的設計と施工計画(生産システム)物的設計と価格など本来相互に関連のあるものがいわば無関係の形で処理されている。

この背景として、工事費が短期間に合理的に算出できるシステムが用意されておらず、工事費と物的設計を勘案した多くの代替案の検討が実施されていないこと、さらにクレーン割当の例でみたように施工計画自体の矛盾をチェックし、論理的に施工計画が立案できる方法が欠如していることが予想され、これらの支援システムの構築が必要である。

いずれにせよ提案競技が物的設計、価格、生産システムの全体を審査の対象とした以上、この提案は次の現実化の過程の出発点となり、プロジェクトの現実化への強い制約条件となる。

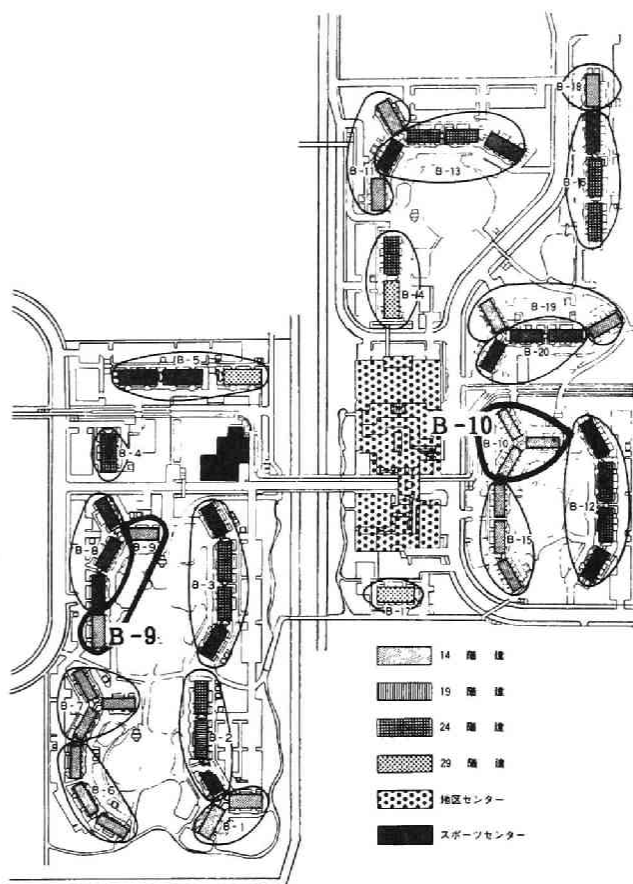


図3.5 クレーン割当図(*6)

3. 2 設計施工競技方式による団地建設プロジェクトの実施設計での決定問題

本問題をとりあげる意味は前節と同じように、設計施工競技方式の場合、物的設計、価格、生産システムの整合性が典型的に表われ、基本設計から実施設計に移行する過程が外部からも観察しやすいため、実施設計での決定問題の例としてとりあげる。

3. 2. 1 対象プロジェクト及び問題の概要

(1) 対象プロジェクトの概要

3. 1 節に同じ。但しプロジェクトの施工者は提案競技の第1位入選者であり、異業種共同企業体（建設業者1、鉄鋼メーカー1、設備業者1、設備メーカー1、商社1）である。以下この異業種共同企業体をJVと略す。

(2) 問題の概要

提案内容である基本設計はこのプロジェクトの原点である。その実施にこぎつける段階でプロジェクトの現実的前提条件が決定される。この実施設計プロセスでは物的設計、価格、生産システムはより詳細化され、相互の整合性の検討が必要である。本節では前節でみた物的設計、価格、生産システムの不整合性がプロジェクトの現実化に伴い、いかに修正され、整合性が確保されるかを考察する。

3. 2. 2 問題の構造

ここではプロジェクトの現実化の推進者の観点で問題の分析を行った。図3. 6に問題の構造を示す。以下各要素について論述する。

(1) 環境

提案競技の前提条件はひきつづきここでも環境条件として存在する。ただしプロジェクトの実施が約束されていることによってより現実性をおびた条件となる。施工現場である芦屋浜及びその周辺の情報も具体的、且つ詳細になる。また提案競技に参加した他の組織等からの注視も無視できない。さらに本プロジェクト以降の同種プロジェクトの可能性、その他景気予測によっては設備投資の程度も異なる。

(2) 制約条件

制約条件には可制御要因と不可制御要因があることはすでに述べた。本問題の場合の不可制御要因は大きくは三つに分類できる。一つは提案競技に関連するもので、その中心は審査時に入選案に対して指摘された事項である。二つは施工現場の状況で特に物的設計、

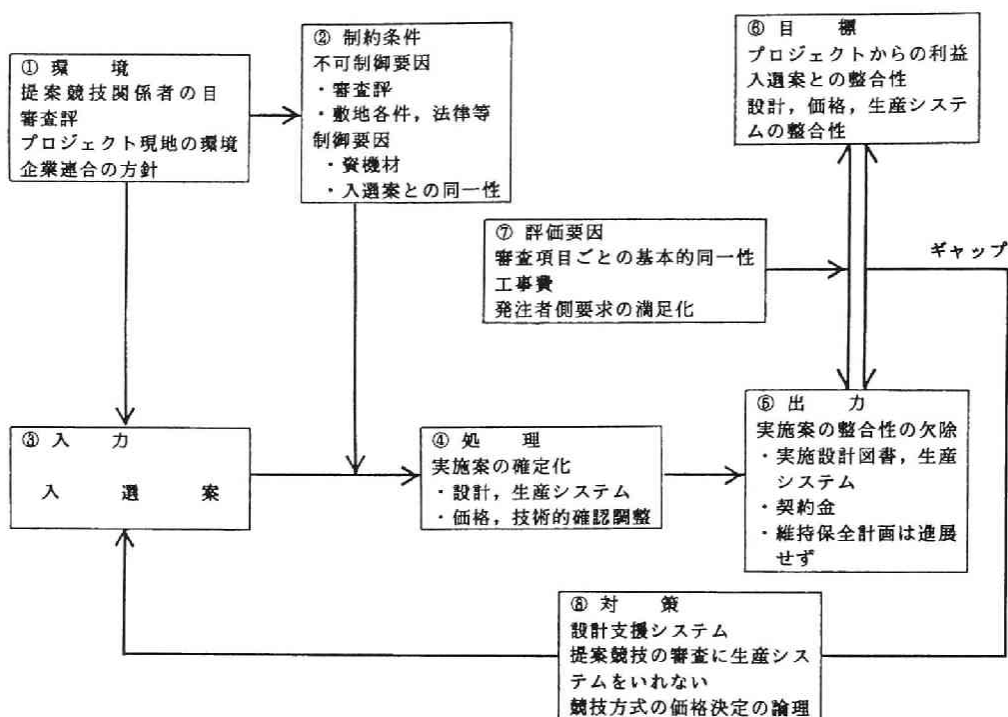


図3.6 問題の構造

生産システムに影響を及ぼす（たとえば埋立地、地盤強度など）要因である。三つは法律、条例等の制定、改正に関する要因でプロジェクトの期間が長いと生ずる可能性が高い。一方制御要因は二つあり、一つは通常の意味での投入可能な人的、物的資源の制約、二つは入選案との同一性の確保である。同一性は特定の項目たとえば価格には厳密な論理構成が要求されるが、残余の項目は比較的緩い制約となり操作可能な要因といえる。

(3) 入力

入選案そのものである。

(4) 処理

入選案が種々の制約を受けながら実施案として現実化される過程である。この過程での整合性には二つの側面がある。一つは個々の項目での入選案と実施案の整合性、場合によっては同一性、他の一つは物的設計、価格、生産システムの整合性である。詳細は次項で論述する。

(5) 出力

出力は実施案である。実施案は主として次の六つが確定することである。

a. 契約方式、契約書類及び契約価格

- b. 発注者、受注者等生産組織
- c. 実施設計
- d. 入選案にいう生産システムを含む施工計画
- e. 品質管理システム
- f. 工事監理

本節では物的設計、価格、生産システム（施工計画）を扱っている。内容の全体は文献（*4）に詳しい。ここではその結論だけについてふれる。

上記の a, c, d に関する結論は端的にいうと次のとおり。物的設計と生産システムは強い関係のもとに現実化される。価格は提案価格とは強い論理的つながりを持っているが、物的設計、生産システムとは無関係である。（図3.7）

（6）目標

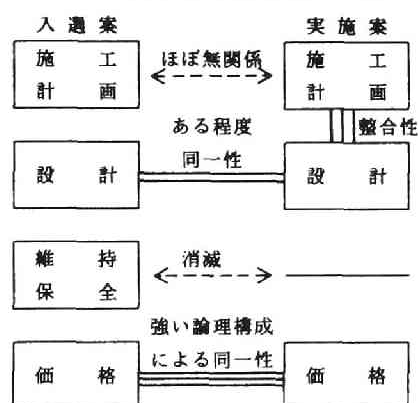
実施案確立の目標は図3.8のとおり。プロジェクトの推進者としてはプロジェクトの実施が最終的な目標であり、そのための手段としてプロジェクトの整合性を入選案との同一性、物的設計・価格・生産システムの整合性の両面から確保する。これが当面の目標である。

（7）評価要因

大きくは二つあり、一つは提案競技特有の要因、つまり入選案との整合性、同一性の評価、二つは通常のプロジェクトと同様に物的設計・価格・生産システムの整合性、建築主の満足度、収益性がある。

（8）対策

入選案である基本設計から実施設計の確立過程を通常の実施設計プロセスとみなせば、そのプロセスへの施工計画システム、工事費算出システムなど設計支援システムの確立。



4者はほぼ無関係 設計・施工計画のみ整合的

図3.7 入選案の現実化

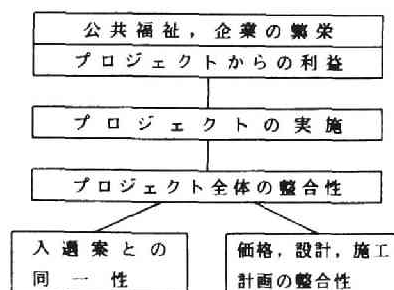


図3.8 目標の階層性

3. 2. 3 処理過程

ここでは実施案の確立過程を①実施設計確立の過程、②契約価格決定の過程、③生産システム確立の過程の三つに限定して論述する。

(1) 実施設計確立の過程

提案された、いわゆる基本設計はプロジェクト実施を可能とする工事契約図書としての実施設計図書に完成される。その過程は「開発」・「変更」・「確定」であり、

①開発 — 着想・試みを試験等によって現実化する。この場合建築基準法第38条関係の特別認定が関係する。

②変更 — 種々の主体の要請によるもので、(イ)発注者による変更(細部に関するものが多く、比較的原案を尊重している)(ロ)受注者による変更(生産システムの確定に伴うもの、例えばPCa板の厚さの変更、種類の減少)(ハ)行政指導による変更(基準法特別認定その他耐火被覆・構造部材の変更、また地元自治体の指導による日照条件改善のための住棟配置替え等)(ニ)エネルギー供給者等の第三者の事情による変更(集中検針の中止等)と分類できる。

③確定 — ディテール等の未確定部分を実施設計図として確定する。

このように提案である基本設計と実施設計の間には差異が生じるのであるが、両者は基本的な同一性を保たなければならない。さもないと提案審査が意味を失うからである。契約前の変更は基本的な同一性を犯さないにしてもかなり大幅なものである。例えば(ハ)の理由による変更は設計コンセプト、コストに大きな影響を与えており、且つ当該変更部分に留まらず、他の建築エレメントにも影響は及ぶ。また(ニ)の検針方式の変更は住戸平面、特にそのバリ

エーションを結果的に大幅に制約する。受注者側の申し出によるものは生産システムがらみのものが主たるものであるが、同時に行政指導等が背景として重なることもある。確定の一

表3. 3 発注者別PCa板種類・枚数一覧表

| 発注者別 | | 公団 A | 公団 B | 県営 | 公社 | 計 |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| 部位 | | (991戸) | (600戸) | (596戸) | (595戸) | (2,782戸) |
| 床 | 種 類 | 135 | 122 | 103 | 128 | 488 |
| | 枚 数 | 6,378 | 3,840 | 3,208 | 3,836 | 17,262 |
| | 戸当平均枚数 | 6.44 | 6.40 | 5.38 | 6.45 | 6.20 |
| 壁 | 種 類 | 93 | 85 | 82 | 86 | 346 |
| | 枚 数 | 6,270 | 3,792 | 3,696 | 3,742 | 17,500 |
| | 戸当平均枚数 | 6.33 | 6.32 | 6.20 | 6.29 | 6.29 |
| 役物 | 種 類 | 114 | 102 | 95 | 115 | 426 |
| | 枚 数 | 6,010 | 3,664 | 3,712 | 5,003 | 18,389 |
| | 戸当平均枚数 | 6.06 | 6.11 | 6.23 | 8.41 | 6.61 |
| 計 | 種 類 | 342 | 309 | 280 | 329 | 1,260 |
| | 枚 数 | 18,658 | 11,296 | 10,616 | 12,581 | 53,151 |
| | 戸当平均枚数 | 18.83 | 18.83 | 17.81 | 21.15 | 19.11 |

種と考えられるが例えばP C a板の問題がある。基本設計から機械的に拾い出したP C a板種類は2000を越したといわれており、この中には使用枚数1枚というものも相当量あった。こうした生産活動は能率と品質管理の上で好ましくないで、その低減を試みた結果1260種（表3.3）に半減させた。

（2）契約価格の決定過程

価格の問題は契約が随契で行なわれることもあり契約までの協議の中で大きな位置を占める。提案価格は全事業を総括して、約235億円弱である。この価格はコンペ条件上49年10月価格であり、その内訳も付けられている。ただしこの提案はコンペ条件によって47年10月価格で一旦積算され、細目の価格設定をした上で47年10月から49年10月にいたる2年間の工事価格上昇率を見通し、それを割掛けすることによって提案価格を算定するという構造になっている。

いずれにせよ上記約235億円が、審査対象となった点からみて、提案者の責任ある値付けであり、価格協議の出発点がまたここにあることも間違いない。公共住宅住棟に限っていえば235億円に対応する49年10月の提案価格は約123億円弱であった。（47年10月価格約116億円）この中には保守管理費用の他、試験開発費用などもふくまれると解される。

この提案価格に対して最終改定にいたるまでの、価格変動要因は次のものが考えられた。

①提案時点と契約時点の間の物価・表3.4 建築費指数（SRC造事務所、東京）（*7）

賃金の上昇、

②基準法38条認定等により発注者

側で認めた設計変更による増加、

③受注者側からの申し出等で認めた

設計変更による増加等

これらのうち①が最も大きな影響をあたえている。

ちなみに建設工業経営研究会算定、標準建築費指数（SRC、東京、昭和45年基準（*7））は表3.4のとおりである。

また基本設計から実施設計に至る過

| 年 月 | 指 数 | 49. 4 | 176 |
|--------|-----|-------|-----|
| 47. 10 | 104 | 5 | 178 |
| 11 | 105 | 6 | 183 |
| 12 | 108 | 7 | 183 |
| 48. 1 | 112 | 8 | 185 |
| 2 | 114 | 9 | 185 |
| 3 | 115 | 10 | 184 |
| 4 | 117 | 11 | 181 |
| 5 | 119 | 12 | 181 |
| 6 | 122 | 50. 1 | 180 |
| 7 | 126 | 2 | 179 |
| 8 | 135 | 3 | 180 |
| 9 | 144 | 4 | 180 |
| 10 | 146 | 5 | 180 |
| 11 | 148 | 6 | 179 |
| 12 | 165 | 7 | 177 |
| 49. 1 | 175 | 8 | 177 |
| 2 | 173 | 9 | 176 |
| 3 | 174 | 10 | 175 |

程での設計変更による価格変更はプラス30%強である。

これらを総合して結論的には公共住宅住棟分として約282億円、当初提案約123億円からの増加比率は約129%となった。

価格付き2段階契約に関しては、第1段階の価格提案が重大な競争条件となる以上、この提示には特別の慎重さと担保が必要であり、また2段階目にいたる価格変更協議の論理構成は特別の厳密さが一般にのぞまれる。いずれにせよ価格は物的設計と強い関係を持ちながら確定されたとはいえず、むしろ提案価格との同一性を中心に検討されたとみてよい。

プロジェクトに提案時まだ未知で、予測できかねる部分があることは当然であるが、にもかかわらず価格は確定される必要がある。従って基本設計プロセスで一定程度精度のある工事費概算ができるしくみが必要である。

(3) 生産システム確立の過程

提案にいう生産システムは工場生産、品質管理、施工、輸送からなる。ここでは品質管理を除いた残余のものについて論述する。まず提案と実施計画案の比較を図3.9に示す。以下その変更内容の概略と背景について記す。但し(b)(h)(j)(m)(n)は輸送計画の項としてまとめて記す。記号は図中の変更項目の記号に一致する。

①鉄骨部材の工場製作範囲の変更(a)

提案によれば、大ブロック化によりピース数を減少し、工場で塗装までを行なうことになっていたが、実施ではブラスト前までを固定工場で、それ以降を現場塗装ヤードにて行ない、部材も小型化されピース数の増大となった。変更の背景には、完成品の輸送中の損傷の問題、部材重量の問題がある。提案時それらは十分検討されていなかった。

②サイト工場、製品ヤードの設置(c)

(a)の変更により、塗装をサイト工場で行なうため、その完成品のストックヤードが必要となった。

③構造架構方法の変更(ミディストラクチャーから積層工法へ)(d)

提案によれば7階の共用階までをUB柱一節分とし、各共用階毎に一節ずつの部材として(ミディストラクチャー)建方工期の短縮をはかるとしている。この新しい大型部材による工法は本提案の特徴の一つであったが、実際には積層工法でおこなわれた。背景には、大型部材揚重用のクレーンの能力は一般に他の小物に対し過剰で、その損料は莫大である。この場合ポスト芦屋浜の当設備の稼動の見通しがあれば場合によって投資あるいはリースによる利用が考え得るがそれもなかった。また建方中の耐震問題等があげられる。

・提案（＊6）

| 部 品 | 固 定 工 場 | ヤ ー ド | | | サ イ ト 工 場 | | 工 事 現 場 | そ の 他 の 特 徴 |
|------------------|-------------------------------|----------------------|----------------|-------------------------------|---|--------------------------|---|---|
| | | 工 場 | 海 送 | 現 地 | 生 産 ヤード | 製 品 ヤード | | |
| 鉄 骨 | ・集約生産化 ・組立の機械化 ・工程標準化 | 仮置 | ストック (工期別) | 仮置 住棟別 所要 時間別 住棟別 | —— | —— | ・メガブロック 単位で鉄骨先 行建方 ・トレーラから 直吊 ・メガブロック 分仮置 | ・メガストラクチャーの ブロック化 ・ユニバーサル・ボック ス使用による工数低減 ・接合部の標準化 ・大ブロックによるピー ス数減 |
| P C a 板 | —— | —— | —— | 材 料 ストック | 集約生産化 設備の機械化 部品の大型化 | ストック 住棟別 所要 時間別 | ・鉄骨に取付け ・トレーラから 直吊 | ・サイトプラントによる 全PCa板の生産 ・規模により分割可能な プラントシステム ・たて打ちの大巾な採用 |
| 仕 上 材 | ・仕上の部品化 ・1住戸分のパ ッケージ化 | ス ト ッ ク (工 期 別) | —— | 仮置 住棟別 所要 時間別 | —— | —— | ・1住戸分をPCa と同時期に揚 重 ・トレーラから 直吊 | ・複合機能パネル化 ・ドライ工法の採用 ・無廃棄物工法 |
| 設 備 コ ア | ・部材の量産化 | 部 材 ストック | 仮置 輸送 単位 | 部 材 ストック | 配管、メーター を組込んだ1パ ッケージ化 水圧、絶縁テス ト | ストック 住棟別 所要 時間別 | ・同 上 ・たてジョイン トのみ | ・ノックダウンによる 効率化 ・1住戸に必要な設備機 器、部品を一括揚重 ・無梱包工法 |
| 配 管 | ・配管のパート 化 ・配管のユニッ ト化 | ス ト ッ ク (工 期 別) | —— | 仮置 住棟別 所要 時間別 | —— | —— | ・パーツをトレ ーラから直吊 | ・ジョイント部品を工場 で管理 ・現場作業の標準化 |

提案 — 実施策の変更

| | 固 定 工 場 | ヤ ー ド | サ イ ト 工 場 | 工 事 現 場 |
|-----------|---------|-------|-----------|---------|
| 鉄 骨 | a | b | c | d |
| P C a 板 | e | —— | f | g |
| 仕 上 材 | —— | h | —— | —— |
| 設 備 コ ア | i | j | k | —— |
| 配 管 ユ ニ ャ | l | m | —— | n |

□ : 変更した所

・実施案

| 部 品 | 固 定 工 場 | ヤ ー ド | | | サ イ ト 工 場 | | 工 事 現 場 | そ の 他 の 特 徴 |
|------------------|--|-------|-----|-----|-------------------------|---------|--|--|
| | | 工 場 | 海 送 | 現 地 | 生 産 ヤード | 製 品 ヤード | | |
| 鉄 骨 | ・固定工場の目的 は提案と同様 ・プラスト前まで 工場にて製作 | 仮置 | —— | —— | ・プラスト以降 仕上げまでの 塗装 | ストック | ・積層工法による 鉄骨先行建方 ・トレーラから 直吊 | ・ユニバーサル・ボック ス使用による工数低減 ・鉄骨、PCa板接合部メ タルタッチ |
| P C a 板 | —— | —— | —— | —— | ・部品の大型化 | ストック | ・トレーラから 直吊 | —— |
| 設 備 コ ア | ・サッシ打込み ガラスはめ込 み状態まで | 仮置 | —— | —— | —— | ストック | ・現場ストック ヤード有り | —— |
| 仕 上 材 | ・仕上の部品化 ・1住戸単位の パッケージ化 | 仮置 | —— | —— | —— | —— | ・トレーラから 直吊 ・1住戸分をPCa 板と同時に揚 重 | ・パレット、養生シート の転用 |
| 設 備 コ ア | ・キュービクル タイプにて省 力化品質安定 | —— | —— | —— | —— | ストック | ・同 上 ・たてジョイン トのみ ・ストックとジ ャストインタ イムの併用 | ・1住戸に必要な設備機 器部品の一括揚重 ・工場水圧、絶縁テス ト完了 |
| 配 管 | —— | —— | —— | —— | —— | —— | ・数戸単位で 一括揚重 | —— |

図3.9 生産システムの比較

④PCa板製造工場の変更（e，f）

ポスト芦屋浜を考慮し、フローライン方式及びバッテリーホーム方式のPCa板製造を現場サイト工場にて行なう提案であったが、48～50年の住宅建築の落ち込みから投資効果が期待できず、既設工場の稼働率も低いことから、壁板、役物に関しては現場外既設工場に移し、大型重量の床板のみ現場サイト工場で定置平打式で生産することになった。

⑤工事現場にストックスタンド設置（g）

（e）の変更に伴ない、現場サイト及びクレーン旋回内にストックする必要性が発生。またテフロンジョイントによる層間変位の吸収が提案され、その実施にむけて技術的検討が行なわれている。特に鉄骨建方とPCa板建方精度の違いをいかに解決していくかが、工業化工法による芦屋浜プロジェクトの技術面での問題点の一つであった。

⑥設備コア製作工場の変更（i，k）

現場サイト工場をつくる程の個数でもなく、作業環境、地盤の強度、撤去の工程などに無理があると判断され既設工場に移された。輸送方法については、風雨による影響、積み積み卸し回数の増加が損傷頻度の増加になることなどから海上輸送が陸上輸送に変更された。（但し、後に芦屋市と協議の末再度フェリー輸送に変更された。）

⑦輸送計画（b，h，j，m，n）

輸送計画の骨子は（イ）ダム機能の導入、（ロ）最適輸送計画システムの二点である。

現実の過程は上記二点の可能性の検討と現実的な輸送システムの整備である。実施案としては水切岸壁管理と帳票システムによる輸送計画管理の二点が骨子となる。ここでは提案の概要とその限界を指摘し、実施案に至る過程について記述する。

A. 提案の概要

（イ）ダム機能の導入

本プロジェクトの条件である海上輸送を最大限に利用した提案のとらえ方は、船舶の積載量が大きいこと、積み込み、積み出しの際必然的にストックが必要となることに着目し、その海送基地・船上・水切岸壁の3拠点に部品ストックのバッファーを置き、工場生産と現場生産を切り離すことである。そして各々の生産計画を独立的に作成することを可能とした。この発想はJV構成会社の一つである鉄鋼メーカーS社の海上輸送経験を生かしたもので、大型船舶により、且つストックヤードも豊富にある場合は実現性の高いものである。しかし建設現場のように土地の制約が多く、部品点数も多い場合には、船舶は小型化、拠点数も多くなり、ダムの機能も必然的に小型化する。また本プロジェクトは大規模といっ

でも長期なため一日平均の住戸建設戸数は $3384 / 25 / 35 \text{ヶ月} = 3.9 \text{戸/日}$ （但し1ヶ月＝25日とする）であるから従来の経験に基づく輸送計画でも十分に対応できる。

（ロ）最適輸送計画システム(Optimal Transportation Planning System = OTPS)

（イ）によって工場生産が建築工事計画から切り離され現場においては、水切岸壁以降の部品輸送の最適化をはかればよいことになる。OTPSの決定の条件としては、提案

（＊6）によれば「建方クレーンが揚重のために要求する部品を、要求時点以前、クレーン玉掛位置に搬入することを条件とし、その搬入時期は輸送コストが最小になるよう決定するシステムを採用する。すなわち、トレーラ上の最後の部品が建方クレーンによって吊り上げ始められた時刻から、次の部品の玉掛が開始される時刻までの間で、かつ所要トラック台数が最少となる時刻を求め、その時刻に必要な部品を搬入する計画を行なう」とされている。このOTPSは外的要因の少ない屋内工場で、且つ使用部品・部材が少ない場合には適切なものとなり得る。しかし、建設現場は時間単位あるいは分単位で作業を予定できるほど単純ではなく、人手による作業も多い。また、天候の変化（一日のうちでの風雨の影響）にも大きく依存し、規則化しにくい。結論的には、日内時間変化を考慮する程のシステム化は、事務量の増大、コストの増加に結びつき、今回の場合適合性を欠き、そうするよりは、車を一台余分に投入しておけばよいという在来的な考えに落ち着いた。

B. 現実の輸送計画（＊9）

提案は水切岸壁に仮置場を設置することによってバッファーを設けたダム機能と考えた。実際的には仮置場は設置されず、水切岸壁が輸送計画上のネックとなっている。つまり、各部材生産工場、資材工場から送られてくるものがそこを通過するため、セキ止めの作用が発生する。その混乱をいかにうまくコントロールするかが輸送計画上のポイントになる。計画内容としては

（イ）月次岸壁使用計画

（ロ）週間岸壁使用計画

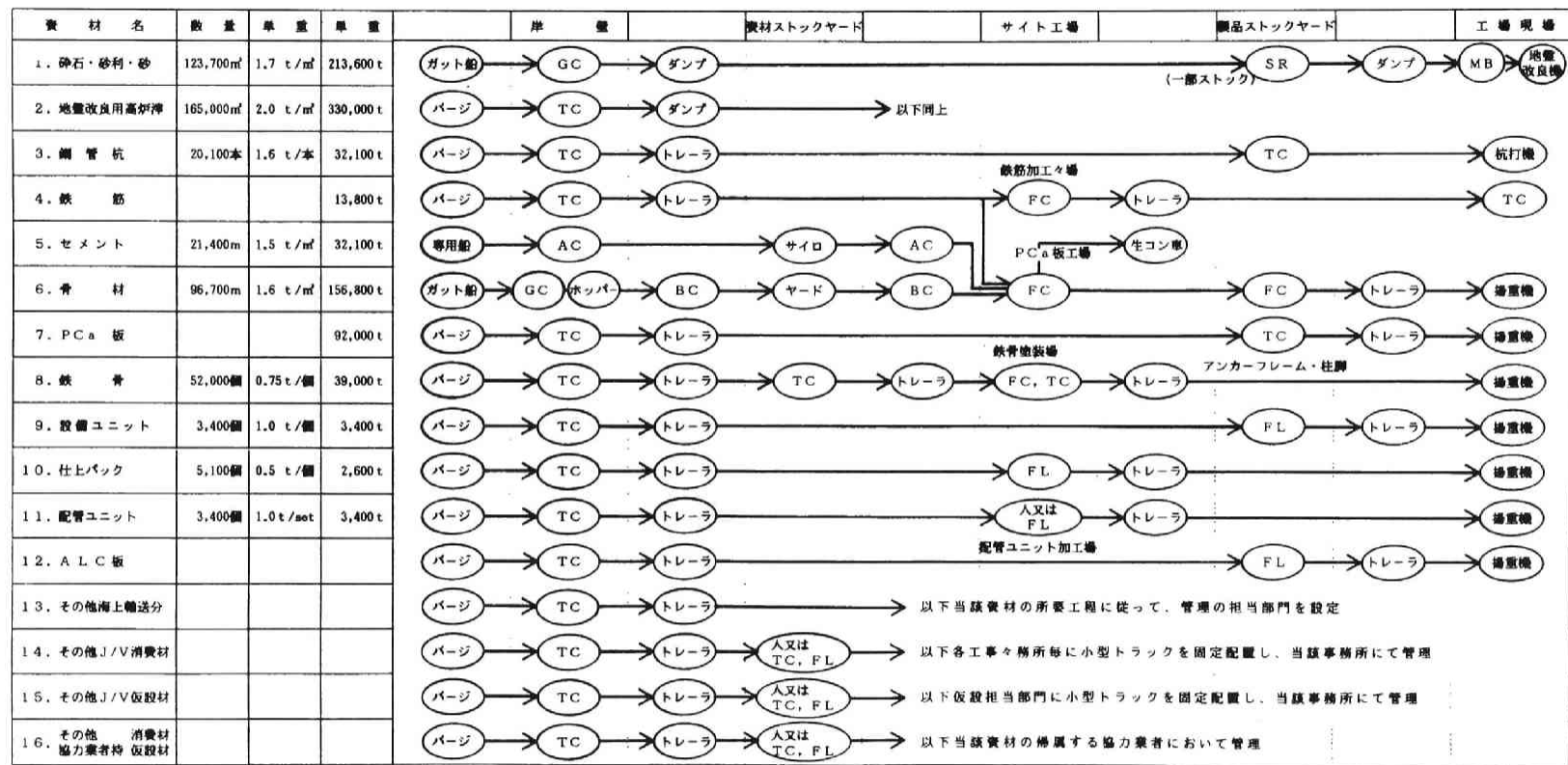
（ハ）日別岸壁使用計画

（二）JV外工事用使用との調整

などがあげられる。これらの計画と管理のフローを示したものが図3.10である。

一方、場内の輸送は主としてトレーラによるが、その指示は揚重（輸送）指示書を使う場合と使わない場合がある。

揚重（輸送）指示書はJVとして集中生産管理を行なうために考えられたもので、部材



凡例 AC:エアコンベア BC:ベルトコンベア FC:工場クレーン FL:フォークリフト
GC:ガットクレーン TC:トラッククレーン MB:ミニブルドーザ SR:ショベルローダ

図3.11 水切岸壁以降の輸送作業フロー (*9)

なお、主要部材であるP C a板、鉄骨、設備コアの供給計画は実施設計の確立時点さらに契約時点においても確立していない。

3.2.4 まとめ

物的設計、価格、生産システム相互は整合性に欠け、基本設計から実施設計に至る過程で大幅な変更を余儀無くされている。これは基本設計プロセスにおける整合性の欠如にその理由がある。この整合性には二つのことが含まれる。一つは物的設計、価格、生産システム相互の整合性、二つは後続プロセスである施工計画プロセス（生産システム）との整合性。仮に基本設計プロセスにおいて概略のフレームが整合的に決定されるならば、ここにみたプロジェクトのような不整合は回避することができ、そのことがプロジェクト全体の最適化につながるものと目される。

3.3 設計施工一貫方式における基本、実施設計での設計、仕様の決定問題

設計と施工を結びつけ、統合化することの意義は前節で述べた。本節では通常の設計施工一貫方式での設計、仕様の決定問題と基本設計プロセスでの生産情報の利用の現実について論述する。

3.3.1 対象プロジェクト及び問題の概要

対象プロジェクトの概要を簡単にまとめておく。

| | |
|-------|---------------------------------|
| 名 称 | S団地第1期 |
| 建 築 地 | 茨木市 |
| 建 築 主 | H電鉄株式会社（土地経営部） |
| 設計・監理 | 株式会社T工務店 |
| 施 工 | 株式会社T工務店 |
| 構 造 | 鉄筋コンクリート造（R.C9F，P.H1F） |
| 面 積 | 建築面積（2992.11㎡）延面積（18014.95㎡） |
| 用 途 | 集合住宅 |
| 全 戸 数 | 233戸 |
| 最多タイプ | 4DK（111戸），専有面積70.75㎡，バルコニー8.86㎡ |
| 工 期 | 昭和55年1月7日～昭和56年3月20日 |

工事概要

外装：R．C造打放しの上アクリル系吹付タイル

屋根：アスファルト露出防水砂付カラールーフィング

5・6号棟各エレベーター付

当該プロジェクトはH電鉄が昭和44年から茨木市周辺3ヶ所にて計11期1858戸を建設したものに継続するプロジェクトである。すべてが設計施工一貫方式であるばかりでなく、担当会社、さらに作業所長が同一である点できわめて特徴的なプロジェクトである。その特徴は大きく次の5つをあげることができる。

①継続プロジェクトであり、平面計画、性能等は引継がれるものが多い。従ってS団地プロジェクトの設計は実施設計が中心である。一方作業所は継続して同じ作業所が対応している。

②にもかかわらずプロジェクトの準備段階は長い。昭和53年6月に建築主と設計者が打合せを開始してから昭和55年1月に着工されるまで1年8ヶ月が経過している。（図3.12）

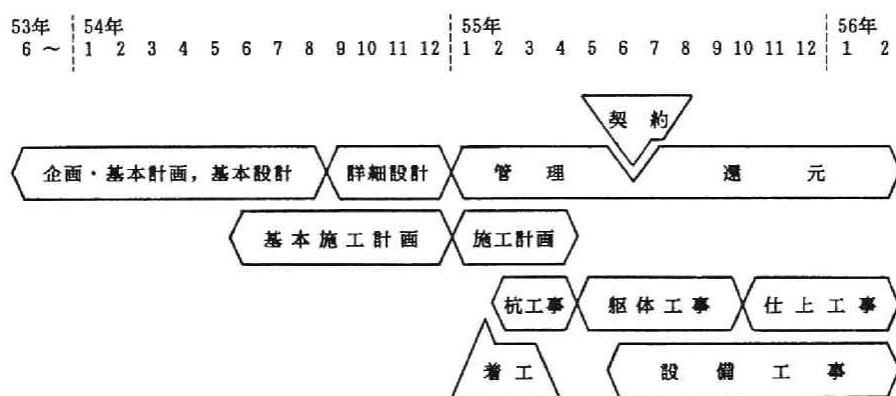


図3.12 プロジェクト概略フローチャート（※10）

③先行プロジェクトの各種のクレームは設計にフィードバックされる可能性が高い。

④一般の集合住宅プロジェクトと同様、周辺の住宅価格の動向から販売価格がまず決定され（それは必ずしも最終価格ではないにせよ）、逆算して工事価格を算出する。

⑤但し当該プロジェクトの敷地は交通の便等の立地条件が必ずしも恵まれているとはいえず、建築主の販売戦略上コストダウンの要望が強くあった。

（2）問題の概要

設計施工一貫方式で且つ継続プロジェクトの場合の設計、仕様決定には二つの特徴的問題がある。一つは設計と施工の統合が最も顕著に現われる可能性が高いこと。その背景

は①現在進行中の施工チームの支援を無理なく得ることができること、②先行経験が建築主、設計チーム、施工チームに共通のものとなったこと、である。

問題の二つはこの種のプロジェクトの物的設計の決定は遅れがちなことである。そのため契約とか着工が遅延したり、契約前に着工する場合がある。着工後に決定がずれることも多い。この場合大枠の工事価格は事前に合意しているにせよ細部は確定しておらず、設計者は後々の決定の自由度を大きくする行動に出る可能性が強い。つまり最初に確定する設計、仕様を低く押える行動である。結果としてコストバランスを欠く可能性を潜在させている。

3.3.2 問題の構造

ここではプロジェクトマネジャーの観点で問題の分析を行なった。問題の構造を図3.13に示す。以下各要素について論述する。

(1) 環境

当該プロジェクトの立地は環境条件の一つである。周辺での分譲住宅の販売価格、設備内容等は直接的に当該プロジェクトの内容を左右する。約10年にわたる先行プロジェクトの経験は設計、施工いずれにも貴重な資料を提供するものである。

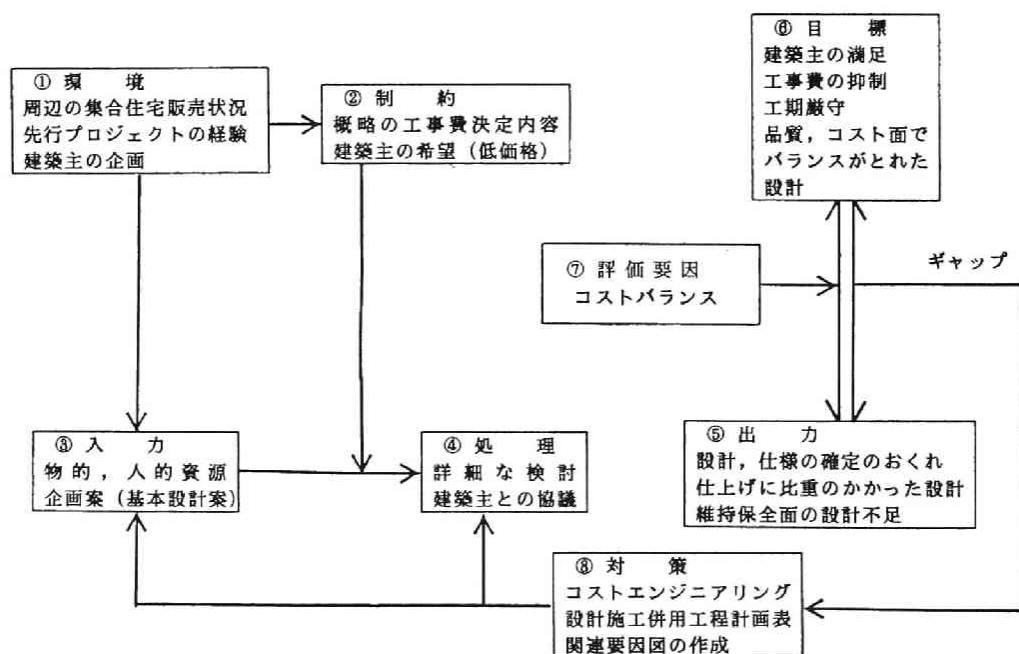


図3.13 問題の構造

(2) 制約条件

上記の環境から建築主はいくつかの希望を出す。立地が必ずしも有利な所ではないので販売価格を低く押えたい。一方でH電鉄の分譲集合住宅として性能を落すことは避けたい。設計者、施工者側にはこのプロジェクトに投入できる物的、人的資源に制約があり、その範囲内での最適化を目指すこととなる。

(3) 入力

先行プロジェクトの経験、低価格住宅の要請から企画案として入力された内容は主として次の7点。

- | | |
|------------------|-------------|
| ①一般開発計画 | 53.6 |
| ②設備配管のXsystemの検討 | 53.6～9 |
| ③コスト減額案 | 53.9～12 |
| ④ローコスト案 | 53.12～54.2 |
| ⑤配置計画 | 53.9～54.4 |
| ⑥ユニットプラン | 53.9～54.5 |
| ⑦構造計画 | 53.12～54.11 |

たとえば④ローコスト案は外部、共用部で5項目、住戸19項目、その他7項目の計31項目について先行プロジェクトとの仕様、コストの比較をしている。仕様変更の内容はa、先行プロジェクト以降に開発され、コストダウンにつながる新仕様の採用、b、仕様をおとす、c、その極端な場合として設置しない（障子等）、に分類できる。仕様変更によって建築工事だけに限っても建築主予算の2%程度の減額が可能とされた。

(4) 処理

図3.12に示すように現実の処理の過程は二つにわけられる。一つは設計、仕様を詳細化、現実化していく過程、二つは施工計画が併行して立案されていく過程である。次項にて詳述する。

(5) 出力

結果だけを記す。当該プロジェクトは顕在的問題を発生することなく、建築主、設計者、施工者ともに満足して推移した。その上でのいわば理想とのギャップあるいは潜在的問題をここにあげる。（この事情は次節以降の決定問題についても同様である。）

まず設計、仕様の確定は遅れており、着工後にも相当程度の検討を行っている。また契約は着工約5ヶ月後である。建築主の希望は仕上、設備面に集中した。

(6) 目標

プロジェクトマネジャーにとっての目標は図3.14に示すとおり。最終的には建築主の満足を獲得することであるが、下位の目標として品質、コストが躯体、仕上の各部分にバランスよく配分された設計があり、一方建築主の要求である工事費の低減がある。

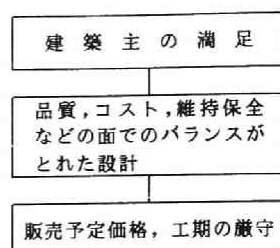


図3.14 目標の階層性

(7) 評価要因

設計工程にも当然に工程表があり、それから逸脱しないこと。コストバランスは通常の場合と特に理由のない限り異ならないこと。品質保証の一貫として保全性、信頼性設計を行ない、維持保全計画に資すること。これらすべてが評価要因である。

(8) 対策

基本設計プロセスで既に具体的工法、施工計画が検討された背景、可能とした条件は今後の設計と施工の統合化を扱う場合の参考となる。また設計、仕様決定の遅延の対策は設計、施工一体のプロジェクト工程計画表を作成すること。設計、仕様が徐々に確定していく段階でのコストバランスを考慮したコストプランニングの手法の開発など新しい管理技術の開発が必要である。

3.3.3 処理過程

ここでは3.3.1(2)問題の概要、で指摘した二つの問題についてその処理過程を考察する。

(1) 基本設計プロセスでの工法検討と施工計画立案過程

施工計画は昭和54年4月に仮設計画図、工事計画書が作成されたことに始まる。この時期はいわゆる企画、基本設計プロセスであり、着工から遡ること9ヶ月である。また表3.5に示した工法検討もこの時期に実施されている。これらを可能とした要因は大きくは設計施工一貫方式（一貫性要因）と継続プロジェクトであること（継続性要因）の二つがある。さらに詳細には次の六つが考えられる。

①建築主に工法、コストに関する理解が一定程度あったこと — 継続性要因

②先行プロジェクトに比べ、コストダウンへの要請が特に強かったこと — 継続性要因、一貫性要因

③プロジェクトの当初から先行プロジェクトを担当している作業所が対応していたこと

表3.5 基本設計プロセスでの工法検討（※10）

| 名 称 | 目 的 | 必 要 条 件 | 設計との関係 | 決定時点 | 備 考 |
|-----------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|---------------|--------------------|
| 南面足場なし工法 | コストダウン 工期短縮 | 作業床があること 作業費が少ないこと 安全性が確保できること | 設計によっては足場なし工法が使用できない場合あり | 基本設計 工法検討会 | 嵩工数が減少 S N工期の短縮 |
| 手摺先付け工法 | コストダウン 工期短縮 (本設用を仮設用に利用) | 工事の障害にならないこと 仮設用に利用できること | 先付け工法の検討 きずつけやすいこと | 基本設計 工法検討会 | 南面足場なし工法との連携 |
| 鋼製型枠の利用 | コストダウン (くり返し使用による) | 標準階がある建物にくり返し使用 (本設用を仮設用に利用) | くり返し使用可能な設計の標準化 | 基本設計 工法検討会 | 補修工事による型枠の改良 |
| 打込サッシ先付工法 | 雨仕舞効果 精度が良い | 変形しやすいために補強をすること | 形状による補強しにくいことあり | 基本設計 工法検討会 | コンクリート打設時要注意 |
| コンクリート直押え | S N工期短縮 材料置場 | 精度の確保が先決条件 | 段差が少ない設計 | 基本設計 工法検討会 | コンクリート打設は天候に注意して行う |
| 配管ネジなし工法 | コストダウン 工期短縮 | な し | な し | Q、Cサークル活動 | 実験検討から3年目に使用した |

一 継続性要因

④人格的にも同一人が対応していたこと — 継続性要因

⑤個人的経験が最大限に生かせ、企画、基本設計プロセスでの技術的検討を可能としたこと — 一貫性要因

⑥企画、基本設計は敷地条件を除いて基本的に先行プロジェクトと同一であること — 継続性要因

従って通常の設計と施工が分離されている場合の統合の方法には、上記の各要因を含むシステムづくりが必要である。つまり①では建築主の理解の程度は一般に浅いと考えられ、そういったいわば素人への情報提供の必要性、②は潜在的問題を顕在的問題に変え、通常の場合の満足解ではなく、期間の許すかぎりコスト最小化努力を要求するもの、③④⑤は施工情報を何らかの媒介を通さず直接導入していることを意味し、情報の量と質の問題、⑥は企画、基本設計時点での情報の詳細の程度を表わしており、先行プロジェクトの経験から、それに基づく施工計画、工法計画の範囲、内容がわかる。

しかしこの工法の決定時期と決定方法について紀乃元は次のように指摘している。「……実態は設計意志を概略決定後、工法の検討を行っている。……現工法は既に決定している設計に適用可能であるため採用したともいえる。……工法の検討は本来物的設計の確定に併行して実施するか、あるいは工法的reviewの実施が必要である。」（※11）つまり依然として設計追随型であり、工法的reviewの実施が必要であるとしている。本論

文の文脈でいえば基本設計プロセスでの施工計画立案の支援システムの構築を指摘したものと解される。但しその可能性と具体的な方法についてはふれていない。

(2) 設計、仕様の確立過程

工法検討、施工計画立案のための前提は比較的明確であった。しかし設計、仕様の確立のためにはある意味で詳細にわたって明確で、別の意味で不明確である。ある意味とは先行プロジェクトとの基本的同一性の確保の点ですべてが暫定的には定まっていること。別の意味とは各部分の設計、仕様が決定していない場合は設計者が設計工程に合わせて建築主の意思決定を要求するが、本プロジェクトのように先行プロジェクトと暫定的に同じ設計、仕様となっている場合、設計者は建築主からの変更の指示を待つか、先行プロジェクトと同じ設計、仕様とするか判断せざるを得ない。また建築主から出される変更の指摘はタイミングの点で必ずしも設計工程に合致したものとは限らないことである。このような状況での設計、仕様の確立の過程を4つの側面からみる。

①. 設計、仕様の細部を現実的なものへと決定していくには上記の理由で前提が不明確である。建築主、設計者双方に先行プロジェクトという下敷があり、安心感がある。気がついた点、特に要求のある点だけを変更すればよいという依存関係が生じやすい。結果は細部の決定が契約後あるいは着工後に延びる場合が少なくない。

②. 建築主の希望は変化する。プロジェクトの設計、仕様の詳細が確定するにつれて建築主のプロジェクトへのイメージは現実性をおびる。合わせて分譲集合住宅の場合は市場性がからむ価格競争力の点での再検討の結果、設計、仕様の変更が発生する。たとえば当該プロジェクトの場合、ローコスト案にて「障子は別途工事」とされていたものが着工後復活され、設計者がその納りの検討に入っている。

①, ②を合わせた変更項目は多い。

表3.6 着工から契約に至る期間の設計、仕様検討・変更リスト(建築)

| 月 日 | 内 容 |
|----------|--|
| 55. 1. 9 | 各住戸玄関扉検討 集会所検討 新聞受検討 屋内消火栓設置検討 |
| 1.10 | アルミ製建具検討 玄関床仕様検討 カーペット仕様検討 洗面室吊戸棚中止理由の説明 ユニットバスの仕様確認 |
| 2. 6 | 集会所設計仕様検討 仕様変更の確認 |
| 3. 7 | 各住戸扉取手決定 外壁吹付タイルの色再検討 トランクルームの壁位置決定 |
| 3.21 | 住戸のタイプ変更決定 バルコニー手摺変更決定 玄関通気用レジスター設置決定 和室付書居復活決定 各住戸の換気グレードアップ検討 アルミ製建具の寸法変更決定 |
| 3.26 | 屋上防水仕様決定 |
| 4. 2 | トランクルームの開口、デザイン形状検討 |
| 4.19 | 南面バルコニー下砂利敷中止 玄関下足入寸法変更 住戸に洋服入を新設 物干金物の数量決定 住戸内流しの変更 |
| 5. 7 | 集会所工事の検討 住戸玄関ポーチの納り検討 |
| 6. 4 | 障子復活による間仕切納りの検討 |

企画・基本設計は先行プロジェクトと同一とし、詳細設計を中心に設計、仕様を確定したとすれば、着工に至る1年8ヶ月、さらに契約に至る5ヶ月は長いといわざるを得ない。ちなみに着工後契約までに仕様変更、検討がされた建築工事部分は表3.6のとおり。

③. 工事費のコストバランスは仕上にウエイトがかかる。販売価格は現地周辺の分譲住宅の価格動向から決定され、その価格から逆算する形で工事価格が決定されることは既に述べた。その枠内で躯体、仕上、設備など各部分工事にいかなるバランスでコストを配分するかは一般に設計者に委ねられている。建築主の満足度を高くするには設計の初期のコストを節約し、コスト面での後の自由度を高くした方が有利である。従って設計の初期すなわち躯体、基礎等に投入するコストは節約し、仕上、設備面での部材選定の自由度を高

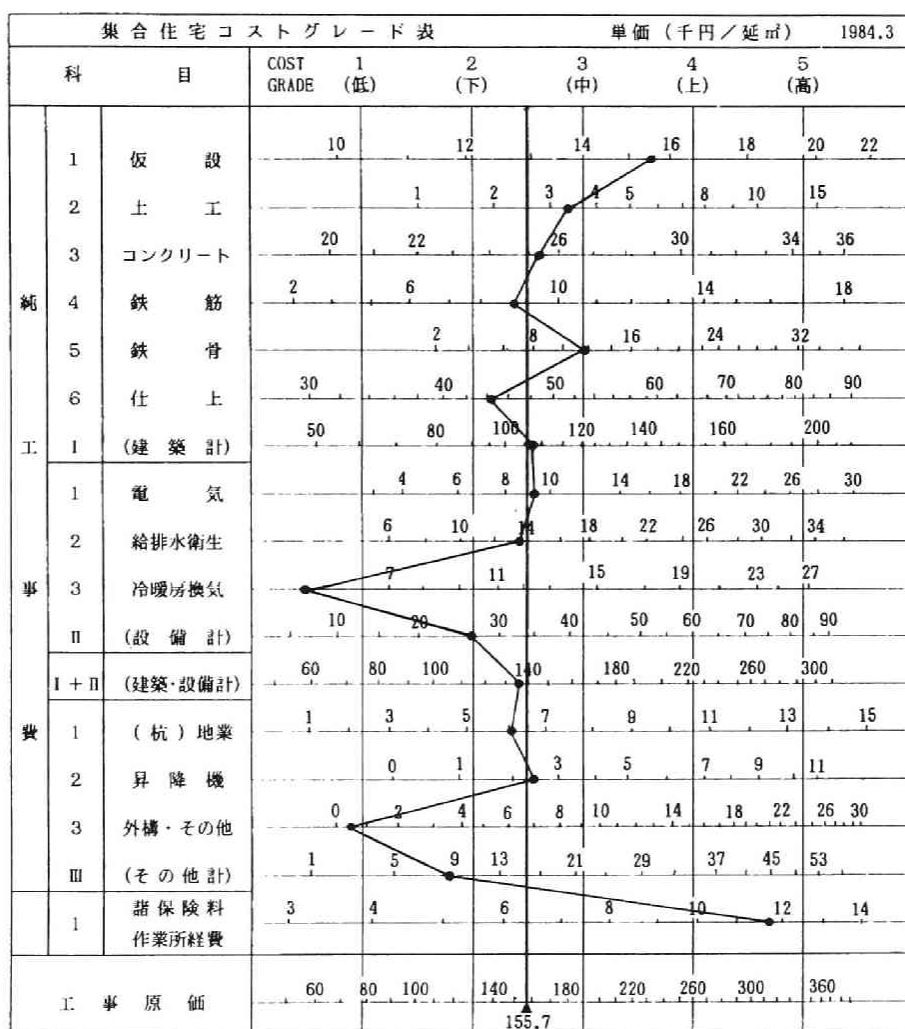


図3.15 コストバランス比較図

くする傾向が強い。現実的な施工単価が詳細に把握されている設計施工一貫方式においてとくにこの傾向は強い。設計と施工が分離している場合は現実的な施工単価が把握されておらず、設計段階でのコスト配分には一定のリスクが存在することからこの傾向は顕著ではない。当該プロジェクトの一例では個別性が強いので、設計施工一貫方式の割合が比較的高いT社の平均的コストバランスと全建設業でのそれとを比較する。図3.15はT社の集合住宅用コスト・グレード表（1984.3現在）に全建設業での同種のプロジェクト129件の平均（*12）をプロットしたものである。仕上、冷暖房換気、外構で平均のバランスより高くなっていることがよみとれる。

d.すでにふれたように設計施工一貫方式の場合、プロジェクトの『最初』と『最後』つまり企画の開始と竣工時点は比較的明快であるが、その間の契約、着工等は明確さに欠ける。一般に設計段階の工程表はことさらそうである。当該プロジェクトの場合の設計工期の決定は紀乃元によれば（*11）次のようである。

「標準工程表によって、与えられた竣工予定日から逆算して着工日を求め、設計企画カードを作成する。関連する部門に設計工期を配分し、各部門の検討結果にしたがって設計計画表を作成する。その後設計課を中心として、設計進捗表、工程管理表、課別進捗状況表を利用して、工期管理を行う。」

これはあくまでも内部的な決定であり、建築主との関係において成立する設計工程は必ずしも整然とはならない。ただしプロジェクト工期全体を最適にコントロールする道具が必要であることはいうまでもない。

3.3.4 まとめ

以上にあげた一貫性要因と継続性要因をとりまとめると図3.16のとおり。

まとめると次のようになる。

（1）設計施工一貫方式が本来有すると目されていた設計と施工の統合の可能性は継続的プロジェクトにおいて一定程度みることができ、継続的でない場合設計施工一貫方式であってもそれほど顕著には表われない。

（2）一貫性要因、継続性要因の有利な面をとり出し、不利な面を極力おさえる方策として三つがあり、情報流通の円滑化、決定過程の論理構成の明確化、プロジェクト全体の計画表の整備である。

（3）具体的にいえば、本プロジェクトが継続的であったことによって、その施工計画は

一定程度物的設計と併行して実施された。通常のプロジェクトにおいてもこの施工計画立案を可能とするシステムを確立しなければならない。

(4) コストが設計に与える影響は大きく、設計当初よりコストバランスを考慮した設計、仕様確立の支援システムが必要である。

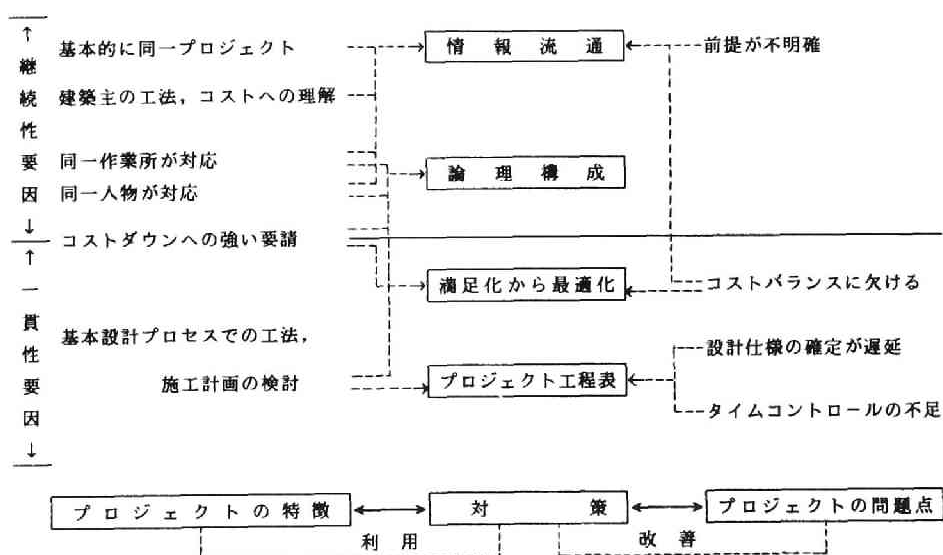


図3.16 一貫性要因と継続性要因

参 考 文 献

- * 1) 古阪, 古川他: 設計施工競技方式による団地建設に関する研究 (1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 日本建築学会, 1977.10
- * 2) 日本建築センター: 工業化工法による芦屋浜高層住宅プロジェクト提案競技募集要項, 日本建築センター, 1972
- * 3) 建設省住宅生産課監修, 日本建築センター編: 工業化工法による芦屋浜高層住宅プロジェクト提案競技, pp.10~19, 工業調査会, 1974
- * 4) 日本建築学会近畿支部: 芦屋浜団地建設における生産管理システムの調査研究第一次中間報告, 日本建築学会近畿支部, 1977.1
- * 5) 前出 4) pp.138~152
- * 6) ASTM企業連合: 工業化工法による芦屋浜高層住宅プロジェクト提案競技応募案, ASTM企業連合, 1972
- * 7) 建設工業経営研究会: 建築費指数集録, 大成出版社, 1978
- * 8) 永易, 古川他: 設計施工競技方式による団地建設に関する研究 (2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 日本建築学会, 1977.10
- * 9) ASTM共同企業体: 集中生産工事管理システム実施要領, ASTM共同企業体, 1976
- * 10) 紀乃元: 設計施工一貫システムの実例研究, 京都大学修士論文, 1981
- * 11) 前出 10) pp.77~86
- * 12) 建設工業経営研究会: 経研57 建築工事原価分析情報, pp.26,27, 大成出版社, 1984

第4章 施工段階での決定問題の実態

4.1 大規模集合住宅プロジェクトにおける工期決定問題

建設工期は発注者・受注者双方の同意により設定されることは論を待たないが、通常は技術的に可能な範囲で発注者の意向が主導的である。

また建設工期は設計段階において、概略にせよ施工計画を検討し、実現の可能性を確認した上で決定されるべきであるが、通常はそうはなっていない。本節でとりあげたプロジェクトはその点で比較的良好に事前に検討され、決定過程も明快な例である。

4.1.1 対象プロジェクト及び問題の概要

(1) 対象プロジェクトの概要

対象プロジェクトは第3章1, 2節でとりあげたものと同じである。

工事内容：14階以上の高層集合住宅及び屋外付帯、関連施設等の高層高密度
地建設（全52棟3384戸、内訳 公団1591戸、県営596戸、
公社595戸、民間602戸）（図4.1, 表4.1）

発注者：公団、県、住宅供給公社、民間。

受注者：異業種共同企業体 — 建設業者1, 鉄鋼メーカー1, 設備業者1, 設備メーカー1, 商社1。

原契約工期：35ヶ月

(2) 問題の概要

表4.1 建設主体別階数, 棟数, 標準グリッド

| 建設主体 | 階数(階) | 棟数(棟) | 標準グリッド G=90mm | 全戸数(戸) | 計 |
|----------|-------|-------|---------------|--------|-------|
| 県 営 | 14 | 12 | 6 G × 10 G | 596 | 596 |
| 公 社 | 14 | 4 | 6 × 12 | 199 | 595 |
| | 19 | 6 | 6 × 12 | 396 | |
| 公 団 A | 14 | 5 | 6 × 13 | 247 | 991 |
| | 19 | 5 | 6 × 13 | 334 | |
| | 24 | 5 | 6 × 13 | 410 | |
| 公 団 B | 19 | 4 | 7 × 13 | 266 | 600 |
| | 24 | 4 | 7 × 13 | 334 | |
| 民 間 A | 19 | 2 | 7 × 14 | 133 | 133 |
| 民 間 B | 24 | 2 | 7 × 15 | 168 | 469 |
| | 29 | 3 | 7 × 15 | 301 | |
| 全棟数及び全戸数 | | 52 | | 3,384 | 3,384 |

大規模集合住宅プロジェクトにおける工期決定問題は大きく二つに分けて考えることができる。一つは発注者、受注者双方の合意による契約工期の決定。二つは技術的な可能性と経済的工期の検討。ここでは住棟建設工事に限定して論述する。

まず発注者、受注者の合意による契約工期の決定問題は当該プロジェクトが提案競技の

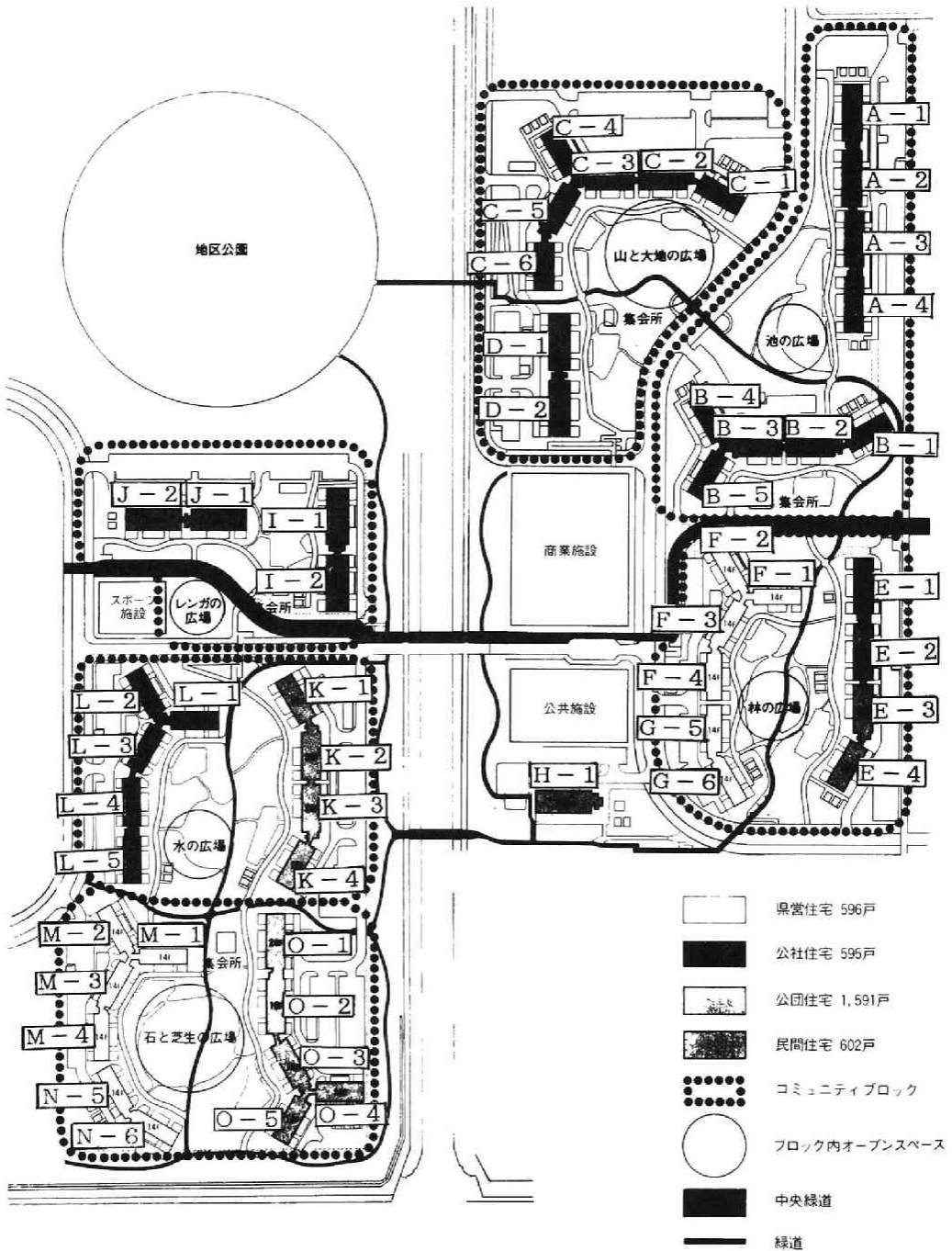


図4.1 配置計画図(*32)

入選案を前提としていることから単に発注者、受注者の合意にとどまらず、提案競技の応募条件、提案内容から一定の拘束を受ける。また発注者側では発注者が複数であること、工事周辺の諸条件の整備が必要なことから当該プロジェクトを含む周辺開発プログラムとの調整、各発注者の事業計画との整合性、提案工期との関わり等の検討が行なわれることになる。そのためには強力なプロジェクトの推進力が必要であるが、プロジェクトの複雑さとその推進力の不足のために結果的には大幅な工期の延長が必要となった。

一方契約工期の検討に際し受注者側では技術的、経済的な立場から工期の検討を行い、発注者側に提案を行った。具体的には最適経済ペースを得るため次の諸点について検討が行われた。①クレーンの転用回数、②1クレーン当りの建方住棟数、③作業日の予測、たとえば雨天日等をどの程度考慮するか、④標準階工程の検討（これはクレーンの稼働率を最大化し、ハンドリング回数を最小化することに主眼がある）、⑤以上を基礎に全体工程表を組み、部材供給の可能性を検討、⑥全自動溶接等特殊工事で全体に影響を与える作業の検討、などである。これらの技術的検討の範囲は広く、十分な検討は容易ではない。実態的にも実行可能で経済的にも最適とされた施工計画に基づく住棟建設工期は、その実施の段階でさらに工期が短縮され、経済的にもよりコストが低減した。従って当初の施工計画は必ずしも最適なものではなかったと目される。技術的には工期は短縮されたにもかかわらずプロジェクトの住棟建設の契約工期は大幅に延長された。

4. 1. 2 問題の構造

ここではプロジェクトマネジャーの観点で問題の分析を行った。問題の構造を図4. 2に示す。以下各要素について論述する。

(1) 環境

当該問題の環境は大別して次の六つである。

①実施計画案は応募条件、提案内容との整合性が要求される。

②施工現場の周辺環境（たとえば地元自治体、周辺住民との調整、了解、あるいは地盤状況、仮設給排水・電源のとり入れ方など）

③工期の検討と併行して確定されつつある実施設計、施工計画、生産組織のそれぞれは特に技術的、経済的な工期の決定の環境となる。

④当該プロジェクトの複数の発注者はそれぞれ成立基盤、事業目的などを異にしている。

⑤大規模で長期なプロジェクトには投入される労働力、機械、材料など諸資源も大量に

なる。従って施工現場周辺でそれら諸資源が確保されねばならず、そうでない場合は遠方より入手、工期工程の変更、工法の変更のいずれかにより不足資源の解消に努めねばならない。いずれにせよ諸資源の状況は工期工程に多大の影響を及ぼす。

(2) 制約条件

制約条件には可制御要因と不可制御要因があることは前に述べたとおりである。しかし当該プロジェクトの工期決定問題のように発注者と協議をした上で決定する場合には天候等自然的条件を除き、二つの要因は明確にわけることが困難である。たとえば提案競技の応募条件及び提案内容はいずれも特殊基礎工事完了後竣工までは2ヶ年となっている。しかしこれは絶対的な制約条件ではなく、倫理的なあるいは精神的な性格が強く具体的な工期は発注者、受注者双方の協議で決定される。また各発注者の事業計画（分譲計画あるいは賃貸供給計画など）との整合性が要求される。当該プロジェクトでいえば施工現場周辺の開発プログラムとの調整、一斉入居の方針などもある意味では可制御要因である。ある意味とは一定の手続き、合意を得れば工期を延長したり一斉入居をくずすことが可能であることをいう。（実際にも工期は延長されており、それは次項の「処理過程」に詳しい。）

技術的、経済的工期の検討の制約条件には投入可能な資源の上限があることは論を待たない。

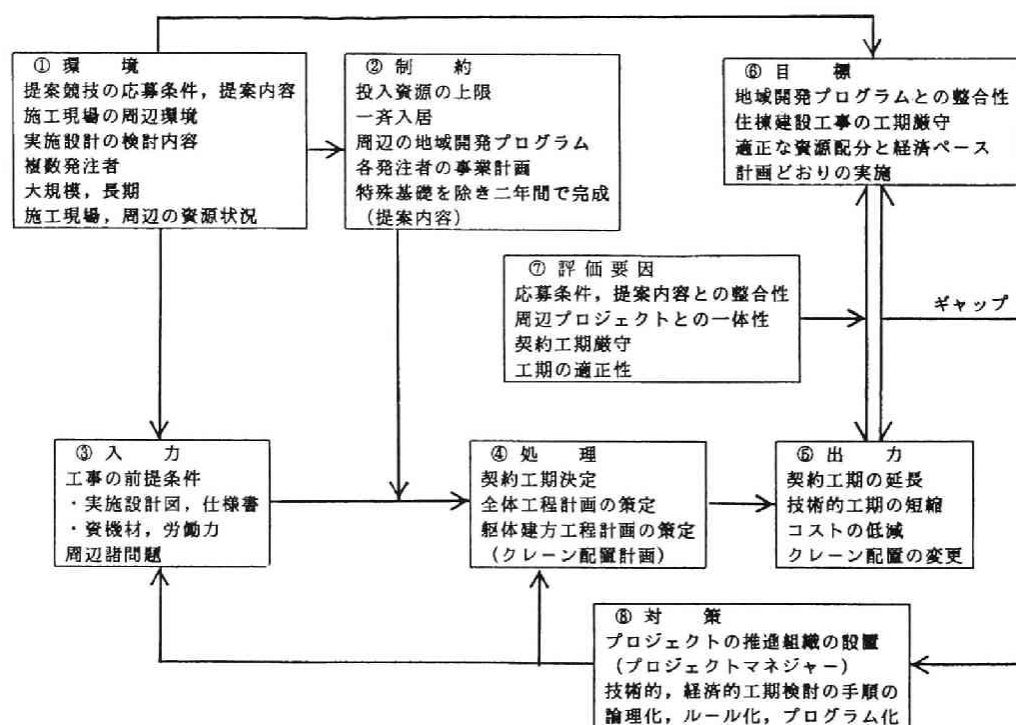


図4.2 問題の構造

(3) 入力

実施設計が確立されていく段階での決定内容が工期決定への入力である。これはつくり出すべきものの情報である。一方つくり方の入力としては使用可能な資機材、労働力など諸資源の情報がある。

(4) 処理

工期決定問題を①発注者、受注者の協議による契約工期の決定、②受注者側の技術的、経済的な適正工期の決定、③躯体建方工程の決定をクレーン配置計画とその稼働率を高める点で最適化する工事計画に分け、次項で詳述する。

(5) 出力

着工前に公共発注者と合意された契約工期は次のとおりである。

| 発注者 | 契 約 日 | 契 約 工 期 |
|-----|---------|-----------------|
| 県 | 50.3.10 | 50.3.11～52.3.31 |
| 公社 | 50.6.25 | 50.6.26～53.2.28 |
| 公団 | 50.3.31 | 50.4.1～53.2.28 |

最終的な変更工期は昭和50年4月～昭和54年2月となっている。

一方技術的工期は計画時の35ヶ月から最も長い公団で34ヶ月と1ヶ月の短縮がはかられ、さらに躯体建方工程に限っていえば、実績で2ヶ月の短縮となっている。ただしこの場合躯体建方用のクレーンの配置が計画と実績で異なり、そのことにより工期短縮とコスト低減が達成された。詳しくは次項にて論述する。

(6) 目標

当該プロジェクトの推進は施工現場を含む全体の開発プログラムと整合性を持ったものでなければならない。そのためには当該プロジェクトの工期は厳守され

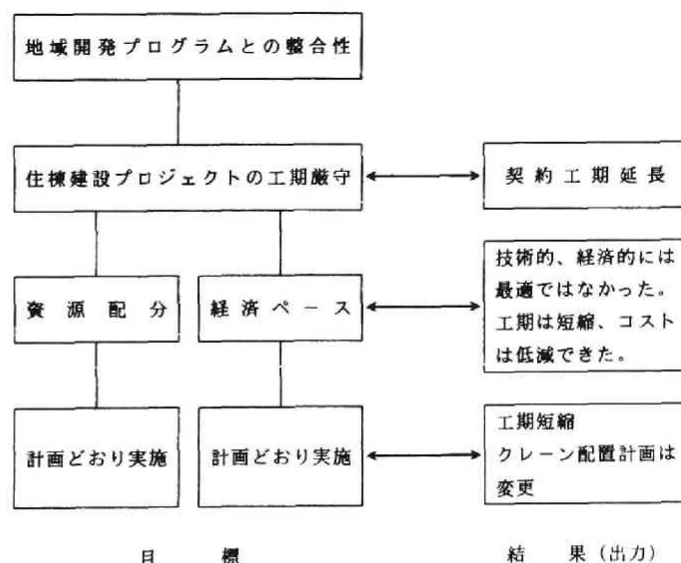


図4.3 目標の階層性と結果との対比

ねばならない。当該プロジェクトにとっては工期厳守の枠内で資源を有効に使用した経済ペースでプロジェクトを推進すればよい。これらの関係は図4.3に示すように目標の階層性と考えることができる。

(7) 評価要因

既に明らかなように評価要因は提案競技の応募条件、提案内容との整合性、周辺プロジェクトとの一体性、契約工期の厳守、技術的、経済的工期の適正化である。

(8) 対策

契約工期決定問題ではプロジェクトの明確な推進者もしくは推進組織が欠如している。

技術的、経済的工期決定問題では思考過程、手順は明らかだが、論理的ではない。なかでも躯体建方工程の計画において中心を占める建方用クレーンの配置計画の思考過程、手順は一定程度明らか、且つ論理化が可能であり、技術的、経済的に合理的な決定方法を開発する必要がある。

4.1.3 処理過程

処理過程を(1)住棟契約工期決定、(2)全体工程計画策定、(3)躯体建方計画の策定の三つに分けて論述する。

(1) 住棟契約工期決定過程

①契約工期の設定

提案工期は地盤改良、特殊基礎を別として、基礎工事完了後完成まで24ヶ月であった。現実には工期は契約によって確定する。公共3者の契約工期(前記)はそれぞれの制度的理由によって多少異なるが、発注者協議機関(注1)では標準工程表を昭和50年4月～昭和53年2月、35ヶ月としている。

発注者の制度的理由とは県の場合49年度補助事業のため49年度内契約締結、51年度内完成の必要があり、後日延長する事を含んで契約工期を設定し、公社の場合契約締結が遅れたため契約工期は公団に比べ短くなっている。いずれにせよこれらは提案競技の基本条件であった同時完成一斉入居を前提とした契約手続上の措置にすぎない。従って周辺の工事条件に何らかの支障が生じなくとも工期変更せざるを得ない原因を契約当初から含んでいた。

(注1) 発注者が複数であるため、プロジェクト推進上の諸問題を協議するために設備された機関で、以後発注者協議機関という。

②工期変更の検討（１）

工期変更の検討は着工時点から開始されている。それは上述の契約手続上の工期のずれの調整ではなく、『芦屋浜団地開発に関する基本協定』締結とそれに基づく工事説明のために着工が遅れたものである。しかし検討すべき機関が設置されていない時期であり各発注者と施工者側が個々に協議した。協議の内容は工事着工の遅れの扱いと延長期間の議論である。施工者側の立場からすれば、直接の工事推進者として変更工期を早期に決定し、その責任関係を明らかにしておくこと、工期工程計画を更新することが工程管理上重要である。

この第１段階は簡単にいえば、各主体の主張が表明されたにすぎず、何ら決定されたものはない。ただし次の合意が成立した。「学校の５３年２学期開校に間に合わせるよう努力する。住棟は一斉引渡しではなく棟別引渡しを承認する。但し工程の再検討と問題点整理を施工者側で行う。」

③工期変更の検討（２）

第１段階での主要な検討課題が着工のズレに関するものであるのに対して第２段階では、竣工時の周辺環境（学校の開設、屋外付帯工事等）の検討が主要課題である。結論からいえば屋外付帯などの施設、民間事業関連との調整を経て、５４年２月末竣工、同３月入居（一部８月末）が決定した。この間の主要な検討内容は次のとおりである。

イ、５３年２学期入居の検討

当面一部を除き５３年２学期入居の方向で工期問題を検討した。この場合の検討内容は四つ。表４．２に具体的な内容を示す。（＊３）

i、公共教育施設の整備

と教員確保の問題

ii、上下水道、電気、ガス、ゴミ処理などの施設整備の問題

iii、民間住棟の事業計画が確定しないことによる工事着手の遅れ、一斉入居への影響

iv、商業施設、スポーツ

表４．２ 懸案事項

(53年 8, 10月入居にネックとなる恐れのある問題について)

| ① 公共・公益施設関係 | |
|-------------|------------------------------------|
| i) 供給・処理施設 | 工程は苦しいが一応間に合う |
| ii) 道路施設 | 補助事業であるため補助金交付が遅れると支障を来す(特に架橋工事)。 |
| iii) 教育施設 | 芦屋市は２学期入居の場合、教員確保の為に費用負担を要求(約１億円)。 |
| ② 工事工程との関係 | |
| i) 商業施設 | 本設は無理、仮設店舗となる。 |
| ii) 東西道路 | 工事用道路を兼ねる。 |
| iii) 民間住棟 | 住棟建方中、騒音、ほこり等の公害発生が心配(民間住棟発注の遅れ)。 |
| iv) 植栽 | 工事開始は53年10月以降となる。 |

施設の事業化計画の遅れ

こうしたことから53年2学期入居は問題が多く、実現の可能性が低いものとされた。

ロ、54年3月入居の検討と決定

53年7月竣工、8月入居案と54年3月入居案について主として

i、入居時の建方用クレーンの使用状況

ii、商業施設関連の整備状況

iii、熱供給施設関係の整備状況

の点で比較検討した。結果は発注者協議機関が「公共住棟入居は54年3月、民間住棟入居及び一部公団住棟入居は54年8月とする。なお施工者は公共住棟入居可能日まで発注者の定める保守管理要領書に基づく管理を行なうものとする。」と決定した。54年3月入居時の周辺整備状況は表4.3のとおり。

表4.3 54年3月入居時周辺整備状況

| | 公 共 棟 | | 民 間 棟 | |
|----------|-----------------|-----|--------------------|--------------------|
| | 西 | 東 | 西 | 東 |
| 住 棟 | 完 成 | 完 成 | 建設中29階 | 建設中29階 |
| 屋 外 付 帯 | 完 成 | 完 成 | 54.7未完成 | 54.8未完成 |
| 大型クレーン | な し | な し | 1基解体中 54.5未解体完了 | 3基作業中 54.5未解体完了 |
| バスルート | 計画上のバスターミナル使用可能 | | | |
| バス運行街路 | 問 題 な し | | | |
| 都市供給処理施設 | 問 題 な し | | | |
| 道 路 施 設 | 問 題 な し | | | |
| 公 共 施 設 | 問 題 な し | | | |
| 教 育 施 設 | 問 題 な し | | | |
| 商 業 施 設 | 問 題 な し | | | |
| 熱供給施設 | 問 題 な し | | | |

④以上の考察から契約工期の延長問題をまとめる。

契約工期の延長は契約以降に発生した周辺諸状況から延長を余儀なくされたものである。その第一の要因は周辺住民との協議に相当程度の日数を要し着工が遅れたこと、第二に、第一の遅れにより入居時期がずれ、学校開校時期等について検討を要したこと、第三に住棟建設工事に付随すべき屋外付帯工事の設計、発注方式の検討にかなりの期間を要したこと、第四、民間住棟の竣工時期のずれに伴ない、その周辺の屋外付帯工事の遅れ、公共住棟入居時点での周辺環境整備状況の調整が必要であったこと、第五、引渡し時期による固定資産税負担問題の検討、である。さらに工事には直接影響を与えなかったが、電波障害

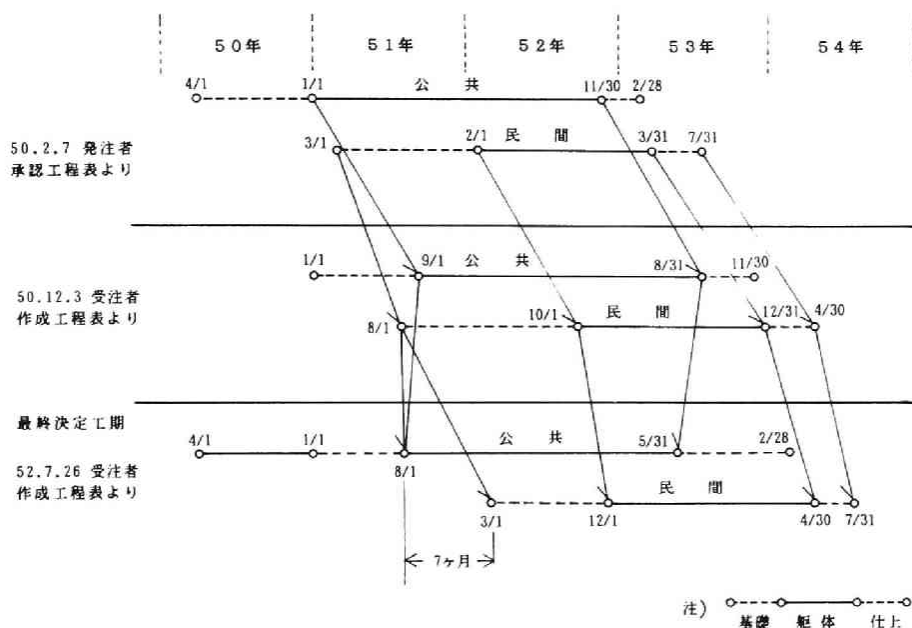


図4.4 公共・民間住棟の工期の推移

対策の進捗によっては工事の一時中止も検討された。これらの検討には多くの人間と時間を要し、結果的には1年間の工期延長が行われた。(図4.4)

次に論述する技術的、経済的工期は全体工期を35か月と設定した上でその範囲内での適正工期を検討している。ここで述べたように当初から1年間の延長が見込まれていた場合、技術的、経済的工期は異なる。従って周辺諸状況からの契約工期の延長は技術的、経済的に最適な工期へ大きく影響する。

(2) 全体工程計画策定過程

現実の工程は先に触れたように発注者協議機関において決定され、契約に至った。その間受注者側では、工業化工法の経済ペースとしての適正工期の検討を行なった。その考え方は問題の概要で述べたように工程計画の中心である躯体建方工程、さらにその主要な部分である建方用クレーンの配置、使用計画を最適化するものである。

① 全体工程計画の作成過程

全体工程計画の作成過程は受注者側の資料(*4)によれば図4.5のとおり。プロジェクトの大規模性から全体工程計画の作成、管理は受注者内の生産課、工事課の二部門が業務分担をして担当した。その要点は、各作業を重要性に応じて管理ランクA~Dに分類し、全体に亘るもの、重要なものを生産課において、その他を工事課において管理するこ

と、及び重要工程表とその実績を生産課にて作成管理することである。(表4.4, *4)

管理ランクの分類の要因と住棟工事各作業との対応をそれぞれ表4.5, 図4.6に示す。管理ランクAの作業は①コンクリート関係、②クレーンによる揚重作業に係り、後工程との関連が大きい作業の二つに分類できる。たとえば鉄骨、P C a板建方、設備ユニットの揚重などで、これらは生産工場の能力に直接影響を与える作業である。管理ランクBの作業は、①ブロック毎に工事を進めるもの、②揚重作業のみが重要なものに分類できる。たとえば杭打、住戸仕上、住戸内設備などで、これらは生産工場の能力の問題ではなく、現場での作業チームがブロック内を横断するため相互調整が必要な作業である。

このうち住棟工事工程表から総合工事工程表に移る過程が全体工程計画作成の中心を占める。この過程は端的には建方用クレーンの割当問題と考えることができる。クレーンを中心とした工程の検討過程は下記の通り。

イ、クレーンの転用回数の原則決定→2回

ロ、クレーン1基当りの住棟の割当て→1～3棟

(ブロック化) (住棟群)

ハ、鉄骨1節分の標準工程検討→基本S N (S N: Standard Network 注1)

ニ、建方期間の割出し→基本S Nを基に1住棟群の建方工程の作成

ホ、全体の建方計画

ヘ、部材の生産供給の可能性→供給者への打診

ト、各種工事(地盤改良、杭等)の計画→クレーンによるブロック化との整合性の検討
チ、イ～ト、の基盤となる仮設計画(道路、水道、電力、ストックヤード)

以上の検討が受注者側で行なわれた。しかし実質上(ヘ)以降の検討は工期の設定が行なわれるまでさほどの意味がない。(ホ)の建方期間が決定工期を超えれば非現実的だからである。今回のプロジェクトの場合、現場打R C造と違い躯体建方工程はクレーンの作業能力に依存しており、工期弾力性に乏しく、工事の遅延は人手の増員では回復できず、それだけ入念に練る必要があった。

現実には受注者側は建方期間を27～28ヶ月と設定し(設定の根拠は後述)発注者側と協議し、先に触れた35ヶ月工期の決定に至った。

(注1) 本論文では基本S N、S N表、全体S N表の三種類のS Nを使い分けている。基本S Nは鉄骨1節分の標準工程(例、図4.9)、S N表はクレーン毎の標準工程表、全体S N表はプロジェクト全体の総合工程表をそれぞれ意味する。

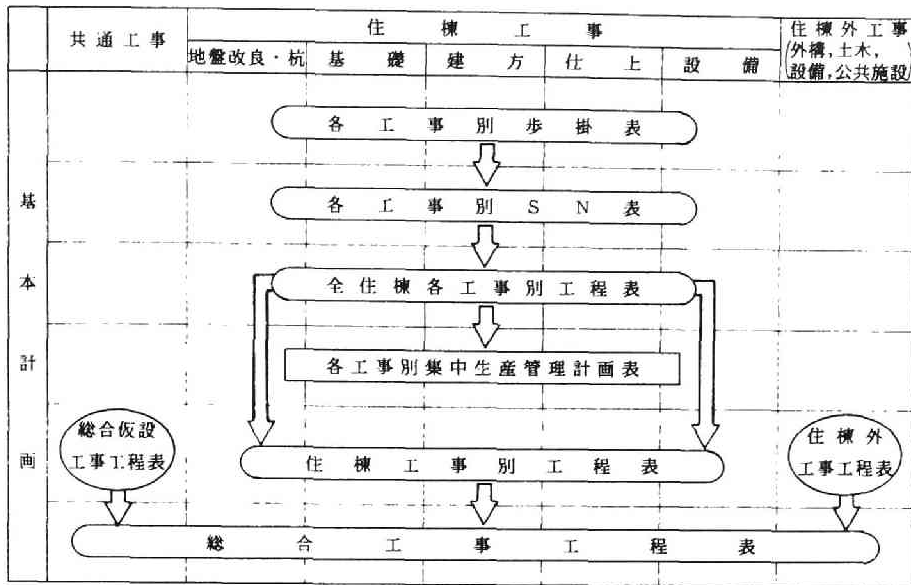


図4.5 全体工事管理帳票類体系図(*4)

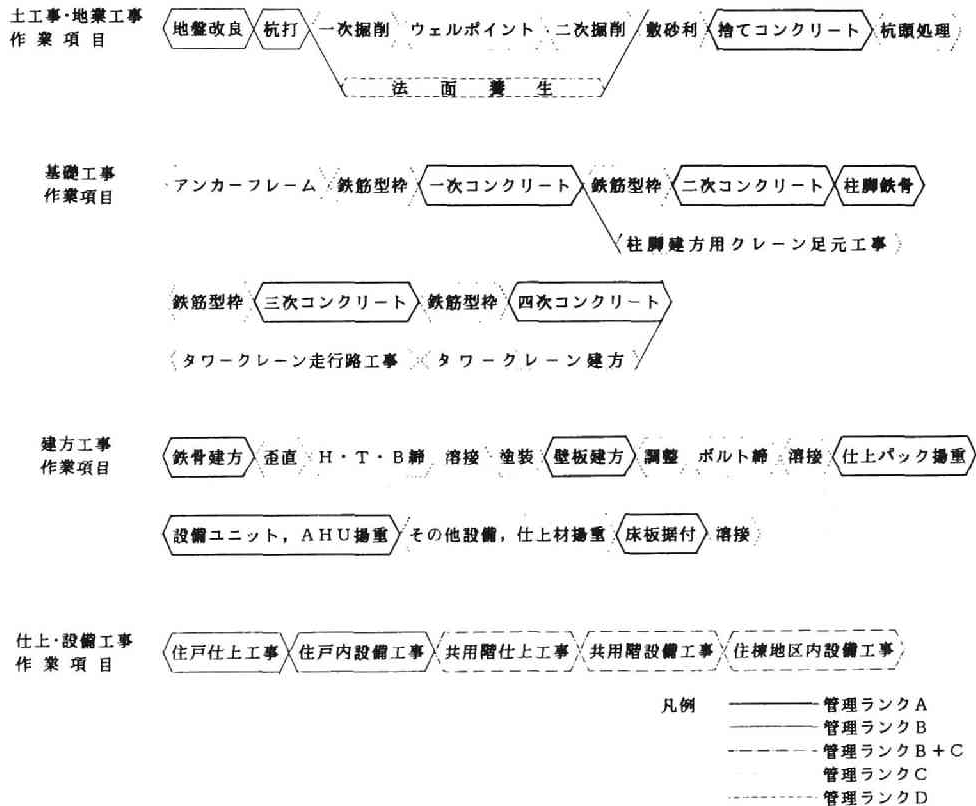


図4.6 作業と管理ランク対応図

表4.4 生産・工事両部門の業務分担（＊4）

| 部門 項目 | 生産管理部門 | 工事部門 |
|----------------------------------|--|---|
| 基本的な考え方 | 1) 工事全般に亘る計画を策定し、工事課、工場、輸送業務間の生産に関する調整を行なう。（集中生産管理上の重要性に応じ、各作業をA,B,C,Dのランクに分けて管理する） 2) 輸送業務を直接総括する。 3) 生産に関する実績を把握し、報告書類、諸統計を作成する。 | 1) 各ブロックにおける工事全般を管理する。 |
| 月次計画 | 1) 「月次生産会議」を開催し、全体調整を行う。 2) 「月間工程表」を作成し、工事課、工場等に配布する。 | 1) 「月次生産会議」に出席。 2) 「月間工程表」の検討及び「月間生産計画書」の作成、必要のチェック。 |
| デ指 イ 示 リ ・ 実 施 | 1) 「日課会議」を開催し、全体調整を行う。 2) Aランク作業（揚重、コンクリート）について「作業指示書」を発行する。 | 1) 「生産計画書」及び「作業指示書」により、作業を行う。 |
| 実績把握 | 1) A,Bランク作業については一貫して設計された帳票により実績把握をする。 2) 管理図等により、工事全体の進捗管理を行なう。 | 1) 「揚重実績表」により部材使用状況を把握する。 2) 「部材管理票」等により、生産状況を把握する。 |
| 報告 | 1) 「工事日報・月報」を発行する。 2) 発注者及び構成会社に対する工事進捗報告書のまとめ | 1) 「生産実績表」を生産課に提出する。 |

表4.5 管理ランク分類表（＊4）

| ランク 項目 | A | B | C | D |
|-----------------------------|--|---|---------------------------------|---|
| 基本 本 え 的 方 な | 日別に全体調整を行なうもの（工場生産から現場施工まで一貫して管理する） | 全体工事管理上のポイントとして、日（週）単位で実績把握を行うもの | Bランクに準じて実績を把握するもの | 全体調整の必要性が少なく、且つポイント工事により、自動的に実績把握が出来るもの |
| 内 容 | 計画 月次生産会議に於て全体調整の上、日別に展開した計画表を作成する | 月次生産会議に於て全体調整の上、日別に展開した計画表を作成する | 月次生産会議に於て全体調整の上、日別に展開した計画表を作成する | 各工事課独自に行う |
| | 作指 案示 生産課より日別に作業指示書を発行する | 月次計画書に基づき各工事課が独自に行なう | 月次計画書に基づき各工事課が独自に行なう | 各工事課独自に行う |
| | 実績 収集 工事課にて作業指示書に実績を記入し、日々生産課に提出 | 工事課にて実績表を作成し、日（週）単位で生産課に報告 | 日課生産会議に於て、口頭で実績を報告 | 生産管理部門としては行なわない |
| | 報告 生産課より、日報月報を発行し、パネル等により進捗管理を行なう | 生産課より、日報月報を発行し、パネル等により進捗管理を行なう | パネル等により進捗管理を行なう | 生産管理部門としては行なわない |
| 備考 | コンクリート打込作業 揚重（輸送）作業 | 地盤改良工事 杭打工事 仕上工事 設備工事 （住棟外工事） | | |

全体工期が35ヶ月に
セットされると、先の全
体建方計画を再検討し、
地盤改良工事、杭打工事
など数ヶ月の工期を要す
ものの工程計画との整
合を計りながら、全体工
程のつめに至る。以上を
フローチャートに示す。

(図4.7)

②全体工程計画と実績
前述の過程を経て策定
された住棟工事の施工計
画と実績を図4.8に示
す。住棟建設工事の工期
(公共住棟に限定する)
は当初予定の昭和51年
1月～53年11月から
約1ヶ月半の短縮がはか
られている。この短縮は

次に述べる躯体建方工程において達成された。

(3) 躯体建方計画の策定過程

躯体建方計画の中心は建方用クレーン毎に標準工程表(SN表)を作成することにある。ここでは基本SNの作成とクレーン毎のSN表の作成の2段階に分割してその策定過程を論述する。

①基本SNの作成

基本SNは躯体建方の標準工程を意味しており、3棟を1基のクレーンで施工する場合の基本SNを図4.9に示す。

実施基本SNの作成に考慮されたポイントは

イ、仮設機械(クレーン)の転用回数と稼働率

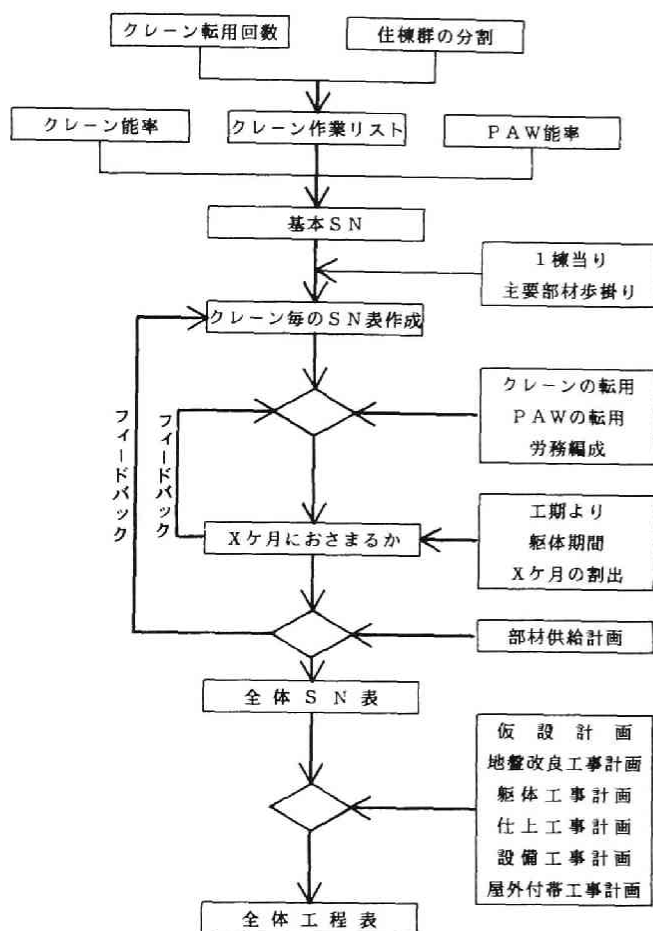


図4.7 全体工程表作成過程フローチャート

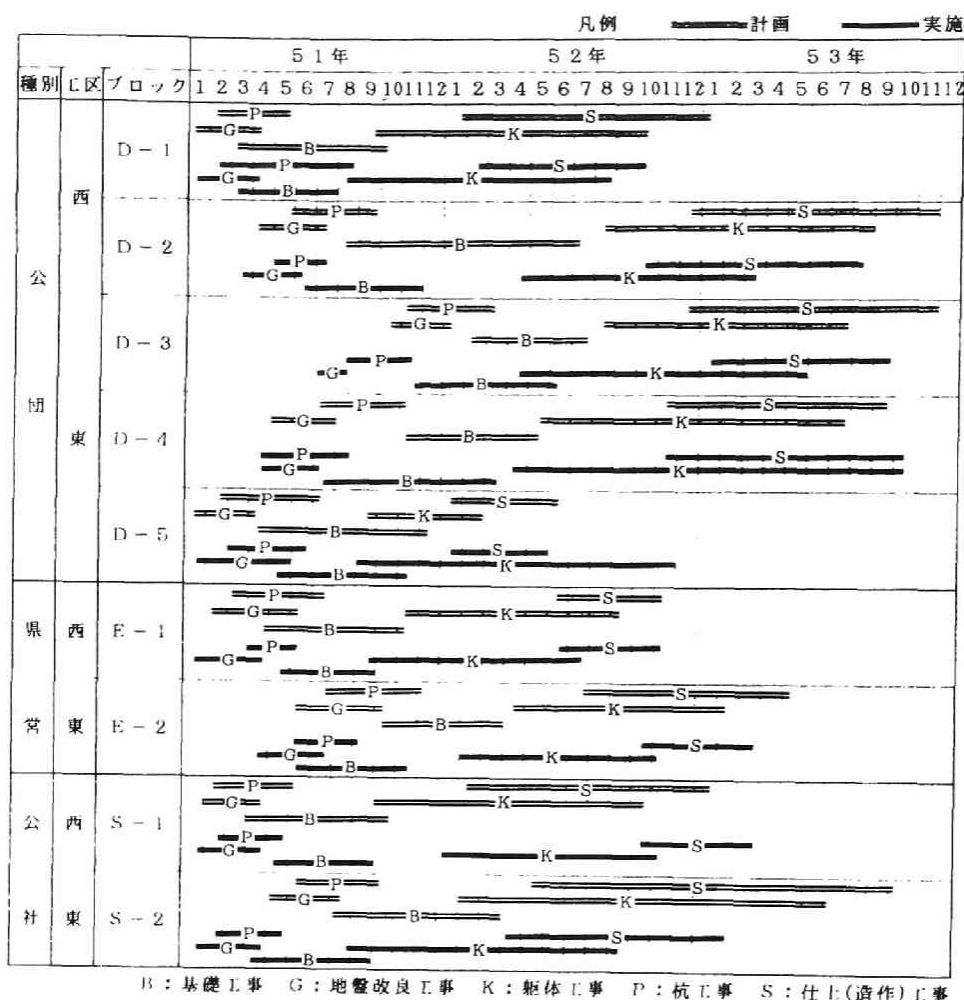


図4.8 住棟工事計画および実績工程表

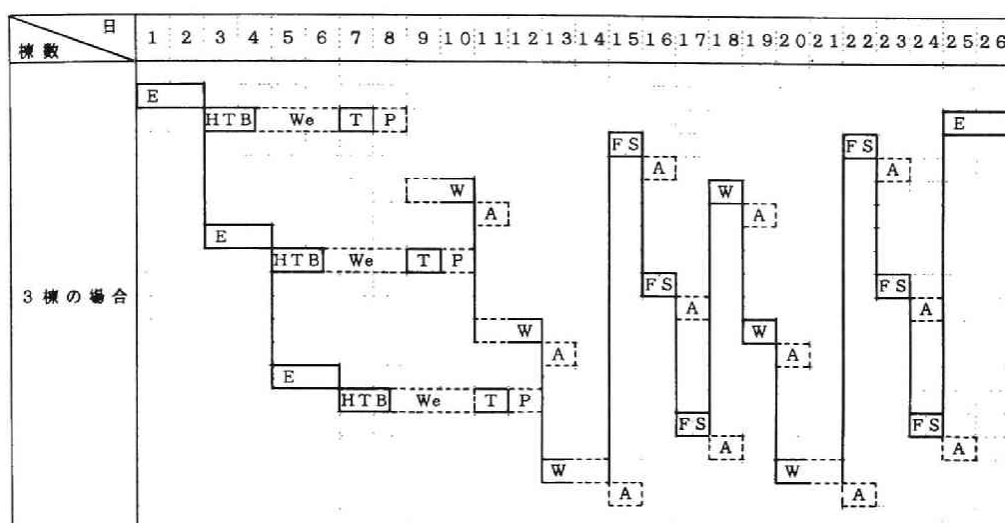
ロ、溶接機（全自動溶接 — PAW）の転用効率

ハ、P C a板、鉄骨部材の生産効率

である。このうち基本S Nにおいて最も余裕がないと予想されたものはPAW溶接（Pilot Arc Welding）である。イ、ロについて概略を記しておく。

イ、クレーンの転用回数と稼働率

実施計画ではクレーンの2回転用を基本としている。（表4.6）一方クレーンの稼働率を（クレーンの稼働日）／（実作業日）とすれば、たとえば実施計画における鉄骨02節部分を例にとると、先の基本S Nの場合、稼働率は0.75である。（表4.7）具体的には作業上手間がかかると思われる鉄骨建方、壁P C a板建込の前後には予備あるいは調整日がとられている。また1日のうちでのクレーンの揚重負荷の軽減のために内装、設



E = 建方・建直し・・・1 節分の鉄骨建方および建直し、本締用足場架設共、コア一部分の階段組立を含む
 H・T・B・・・高力ボルト、H・T・B 本締およびリーマー掛を含む
 We=溶 接・・・・主に柱 (UB) の溶接、PAW 自動溶接および半自動溶接
 T = 検 査・・・・主に溶接部の超音波探傷検査、補修をも含む
 P = 組 装・・・・溶接部、H・T・B の下地処理および錆止塗装タッチアップ
 W = 壁 P C a・・・・壁 P C a 板の組立て、鉄骨組立後の壁 P C a は 1 日の余裕を示す 余裕
 S = 床 P C a・・・・床 P C a 板の組立て
 A = 調 整・・・・P C a 板ジョイント部分の接合および建ち調整、目地部分モルタル詰
 F = 仕 上・・・・仕上バックの掃重を示す、設備ユニット、仕上バック、設備配管等

図 4. 9 基本 SN (3 棟を一基のクレーンで建設する場合) (* 1)

表 4. 6 クレーン転用計画 (民間は除く)

| 機 械 名 | 1 回 | | 2 回 | |
|--------------------|-------------|----------|---------|-------|
| | ブロック (設計棟名) | 棟 構 成 | ブ ロ ッ ク | 棟 構 成 |
| クローラ・クレーン NO.1 | M-1, 2, 3 | 14+14+14 | O-4, 5 | 14+14 |
| クローラ・クレーン NO.2 | M-4, N-5, 6 | 14+14+14 | | |
| クローラ・クレーン NO.3 | F-1, 2, 3 | 14+14+14 | | |
| クローラ・クレーン NO.4 | F-4, G-5, 6 | 14+14+14 | | |
| クローラ・クレーン NO.5 | C-4 | 14 | C-1, 2 | 14+14 |
| 定置式 T.C 180W NO.1 | L-1, 2 | 14+19 | B-4, 5 | 14+19 |
| 定置式 T.C 180W NO.2 | L-3, 4, 5 | 14+19+19 | A-1, 2 | 19+19 |
| 定置式 T.C 180W NO.3 | B-1, 2, 3 | 14+19+19 | | |
| 定置式 T.C 180W NO.4 | O-3 | 19 | | |
| 走行式 T.C 200WA NO.1 | K-1, 2 | 19+24 | O-1, 2 | 19+24 |
| 走行式 T.C 200WA NO.2 | K-3, 4 | 19+24 | E-1, 2 | 19+24 |
| 走行式 T.C 200WA NO.3 | C-5, 6 | 19+24 | E-3, 4 | 19+24 |
| 定置式 T.C 200W NO.1 | C-3 | 24 | A-3 | 24 |
| 定置式 T.C 200W NO.2 | A-4 | 24 | | |

注) T.C はタワークレーンの略

表4.7 クレーン作業内容・ピース数

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-----------|----|----|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----------|----------|----------|----|----|----|----|-----|----------|----------|----------|
| | ← くりかえし → | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 作業日数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | |
| 作業内容 クレーン | E | E | E | 予 | 予 | 予 | 予 | 予 | 予 | 予 | 予 | 予 | 予 | 予 | S・F | S・F | S・F | W | W | W | 予 | S・F | S・F | S・F | |
| ピース数 | 64 | 64 | 64 | | | | | | | 30 | | 30 | 30 | | 16 20 | 16 20 | 16 20 | | 30 | 30 | 30 | | 16 20 | 16 20 | 16 20 |

E:鉄骨建方 F:仕上パック等揚重 S:床PCa板据付 W:壁PCa板建込 予:予備の調整

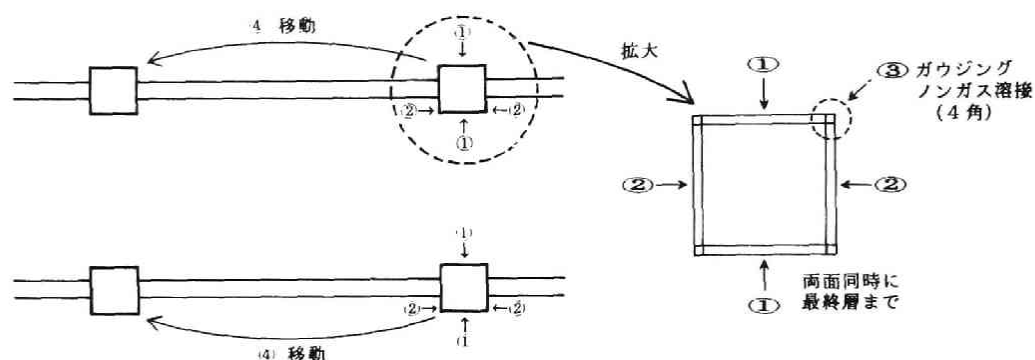
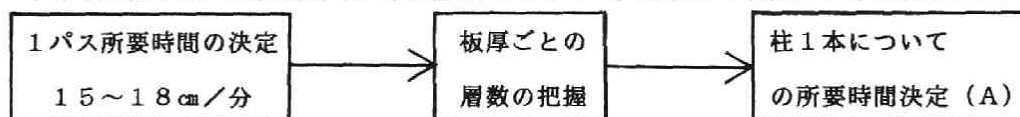


図4.10 PAW溶接の施工順序

備のパック化が考慮されている。

ロ、PAWの転用効率

PAWの能率は、西武新宿ビルの経験及び工場での実物板厚の実験により決定された。

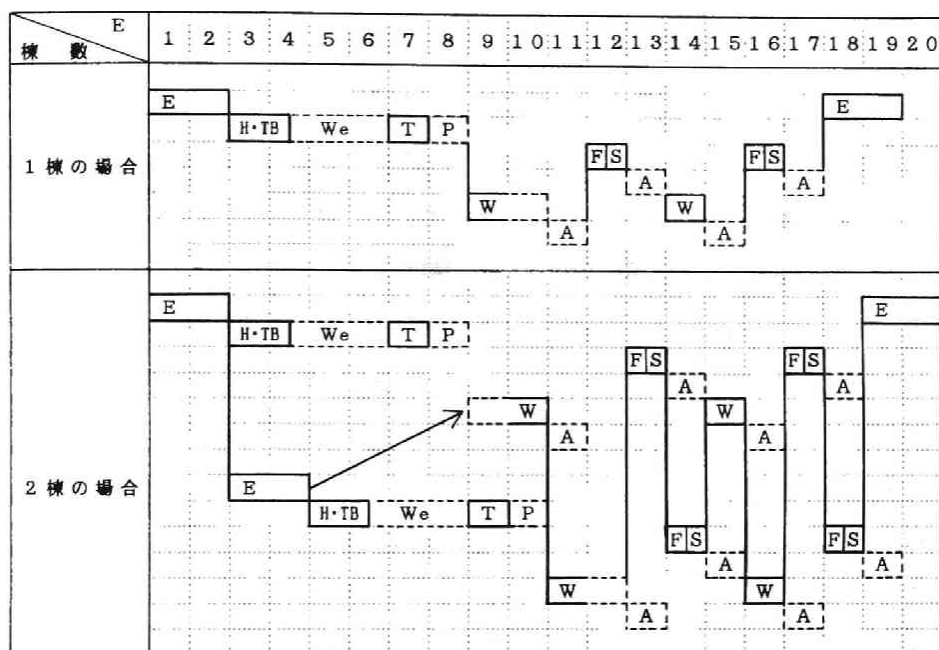


但し、1節の所要時間 = $A \times 8$ 本

1クルーは4名 (PAW溶接機は4台)

1節の溶接の手順は図4.10のとおり。

以上により1棟1節当りの所要日数を求めると、0-1節間で4日、1-2節間で2日となる。板厚は25mm以上のUBに使用する予定であった。(実際には32mm以上のものに変更) SN表においてPAW溶接がクリティカルと考えられた背景は、施工例が少なく、作業員も新規に教育したため不慣れなこと、クレーンと違い、PAW溶接の1クルーは4~6棟を担当するため、単に基本SN上の問題ではなく全体SN表の上での問題であったことなどである。



記号は図4.9参照

図4.11 基本SN(1棟,2棟1ブロックの場合)(*1)

②躯体建方工程について

上記の1クレーンについて<3棟の場合>の基本SNに加えて、<1棟の場合>、<2棟の場合>の基本SNを作成し、(図4.11)それぞれについて、仮想工程を共用階、屋上階も加えて各クレーンごとのSN表を作成する。最長のものは公団D-2ブロックのD-1・2棟で、その建方期間は約13ヶ月である。但しSN表の工程は層に対応したものではなく、1ヶ月22日として作成されている。今その建方期間をまとめると表4.8のとおりである。従ってクレーンの2回転用を完全に

表4.8 棟別建方所要日数(SN表より)

| 発注別 | 工区 | ブロック | 設計棟数 | 建方期日 延日数* |
|-----|----|------|-------------|--------------|
| 公団 | 西 | D-1 | K-1, 2 | 271 |
| | | | K-3, 4 | 266 |
| | | D-2 | O-1, 2 | 273 |
| | | | O-3 | 200 |
| | | | O-4, 5 | 150 |
| | 東 | D-3 | E-1, 2 | 272 |
| | | | E-3, 4 | 264 |
| | | D-4 | A-1, 2 | 234 |
| | | | A-3 | 254 |
| | | | A-4 | 260 |
| | | D-5 | C-1, 2 | 160 |
| | | | C-3 | 258 |
| | | | C-4 | 152 |
| | | | C-5, 6 | 270 |
| 県営 | 西 | E-1 | M-1, 2, 3 | 207 |
| | | | M-4, N-5, 6 | 207 |
| | 東 | E-2 | F-1, 2, 3 | 207 |
| | | | F-4, G-5, 6 | 207 |
| 公社 | 西 | S-1 | L-1, 2 | 215 |
| | | | L-3, 4, 5 | 270 |
| | 東 | S-2 | B-1, 2, 3 | 271 |
| | | | B-4, 5 | 209 |

*) 1ヶ月=22日

実施するにはクレーンの移動期間を考慮して、最大13ヶ月×2+1～2ヶ月（27～28ヶ月）程度が必要である。大胆に仮説を立てるならばPCa板、設備コア、鉄骨部材供給計画が詳細に検討される以前における受注者側の適正建方工期は27～28ヶ月である。現実の過程は「契約工期の決定」のところで触れたように、現場乗入～引渡まで35ヶ月に設定された。受注者側としては、クレーンごとのSN表を35ヶ月工期の中にいかに組み込むかの検討に移る。その際のポイントが先にも触れた、イ、クレーンの転用、ロ、PAWの転用、ハ、PCa板、鉄骨部材、設備コア供給計画、である。検討過程の概略は、まずクレーンごとのSN表によりクレーンの2回転用可能な住棟群の探索とその際のPAW転用の可能性、チーム編成数の決定を行ない、全体SN表の粗案を作成する。続いて工期35ヶ月より逆算した建方工期（約24ヶ月）の中にそれが収まるかどうか検討する。その操作をくり返すことによって工期内に収まるものが出来上ると、部材（鉄骨、PCa

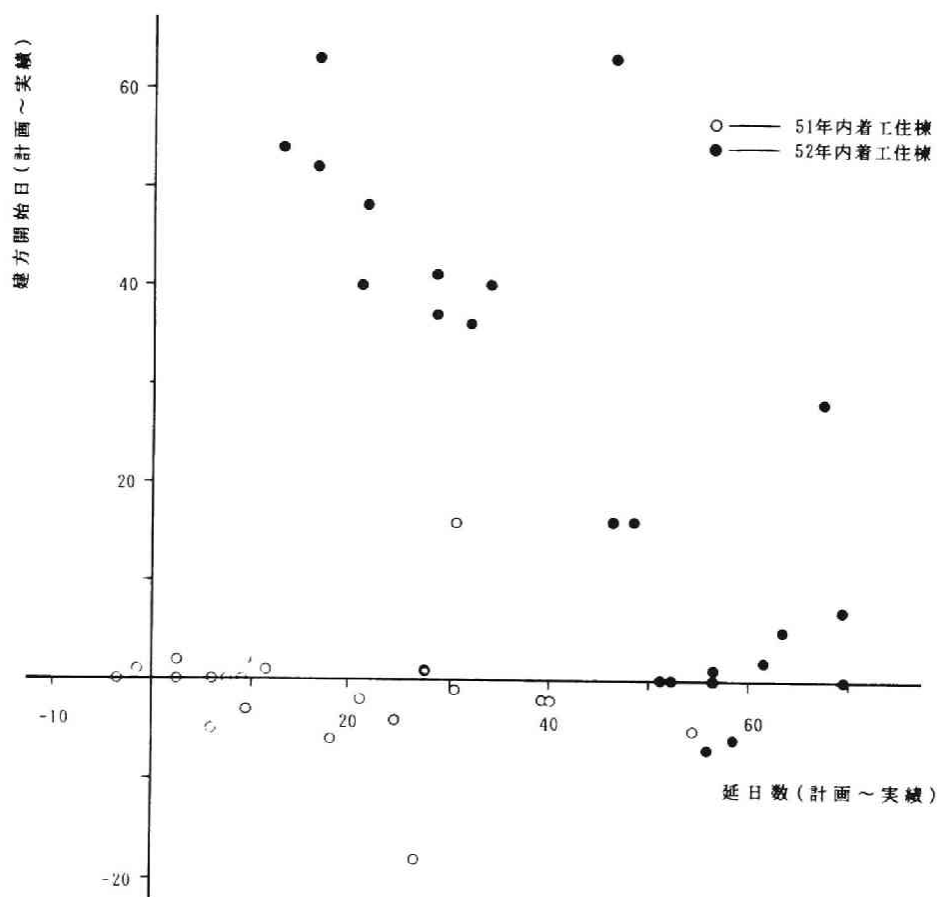


図4.12 住棟別建方開始日・延日数の計画、実績差

板、設備コア等) 供給計画を検討する。供給計画は無理との判断が出ると、再度住棟群探索あるいは1クレーンによる建方を行なう棟数、棟種の変更を行なう。供給計画が適合できるとの判断があると、最終的な全体S N表が完成する。以上の過程をもとに躯体工事に関連する各種工事計画を肉づけし完成したものが全体工程表である。

この操作は手作業で実施され、且つ満足解を求めたものと解される。従って工事の実施段階ではクレーン配置計画の変更、工期短縮が行われることが予想される。

③躯体建方工事の実績

全体として建方工事着工は計画通り、完了は約2ヶ月先行している。住棟別の建方開始日、延日数の計画と実績の差を図4. 12に示す。図によれば、51年内着工住棟はほぼ計画どおり開始されており、工事期間が2棟の例外を除いて短縮されている。それに伴って52年着工住棟は計画より早く開始される住棟が大半で、短縮日数も51年着工のそれよりも大きいことがわかる。次に全公共住棟(45棟)を延日数で比較すると図4. 13のとおり。図でいう公休日とは日曜、盆、正月休み等を、作業休止日とは雨天等で建方作業を休止した日を、稼働日とは延日数からそれらを除いたものを意味している。図4. 13をみる限り、工期短縮に最も寄与しているのは作業休止日で雨天等が計画より大幅に少なかったことを示している。つ

づいて稼働日の影響が大で、工事ならびに準備作業の能率が計画を上まわったことを示している。稼働日の短縮をさらに細かい要素で示

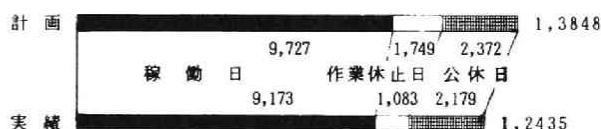


図4. 13 住棟建方工事の計画と実績(延日数)

したのが表4. 9である。同表で鉄骨、壁板、床板を比較した場合、壁板、床板等P C a板での短縮が大きく、鉄骨節別では04, 06, 08, 10節での短縮が大きく、奇数節ではむしろ計画より日数を要している節が多い。偶数節で短縮が大きいのは偶数節が当該プロジェクトに採用された共用階に該当する部分で、初めての試みであり、計画時にかなり余裕を見込んでいたことによる。奇数階で計画を上まわる日数

表4. 9 稼働日の短縮要素

| 部位 節 | 鉄 骨 | 壁 | 床 | 計 |
|---------|-------|------|-------|--------|
| 0 1 | -126 | 64 | 12.5 | -49.5 |
| 0 2 | 7.5 | 22.5 | 13 | 43 |
| 0 3 | -28.5 | 42 | -29 | -15.5 |
| 0 4 | 72.5 | 78 | 61 | 211.5 |
| 0 5 | -107 | 11 | -46.5 | -142.5 |
| 0 6 | 96 | 65.5 | 113 | 274.5 |
| 0 7 | -38.5 | -18 | 7 | -49.5 |
| 0 8 | 82.5 | 8 | 28 | 118.5 |
| 0 9 | -4 | -2 | -31 | -37 |
| 1 0 | 50.5 | -0.5 | 5.5 | 55.5 |
| 1 1 | -2.5 | 27.5 | 120 | 145 |
| 計 | 2.5 | 298 | 253.5 | 554 |

を要しているのは、計画のそれにはクライミング日数が算入されていないこと、エレベーター棟に要する日数が定かでないことによる。いずれにせよ全体として技術的には工期は短縮された。

一方クレーンの配置計画と実施を図4.14、図4.15に要約する。この図より次のことがいえる。

イ、一基のクレーンによる施工単位（1、2、3棟のいずれか）を決定するための論理的な手順はなく、最適かどうか疑問である。

ロ、一基のクレーンによる施工単位において当初の計画では低層部から最上階まで同一のクレーンによる建方となっていた。現実にはプロジェクトの後半において低層部を移動式で且つ能力の低いクレーンで施工することが多くなっている。

ハ、これは高層建方用タワークレーンの転用前に小型の移動式クレーンによって着工を早め、工期短縮をねらったものである。

ニ、クレーン転用計画の変更が結果としてコストダウンにつながった可能性は強い。たとえば図4.15にあるD55、56の住棟の建設作業日（日曜日、雨天を除く実作業日）は250.5日でタワークレーンJCC200WAで施工している。一方D21、22の住棟の建設作業日は241日で、最初は移動式のクローラクレーン440S、670S、で施工し、その後JCC200WAを転用している。このクローラクレーン二機種はJCC200WAタワークレーンに比べ、その損料が安いこと（注1）、実作業日が減少していることの両面からコストダウンが予想される。

ホ、以上のことはプロジェクト当初の計画が経験と達観による満足化であったことを裏付けるものである。

4.1.4 まとめ

以上述べたように公共住棟建設工事そのものは計画を上まわる速度で実施された。工期延長は施工技術、能力による要因ではなく、工事の進行を保証する支持条件の検討、整備

（注1）機械損料は自社、リースにより異なる。又リースにも取引関係の深浅により一般的に比較できない。ここでは積算資料（*5）のクレーンの製品購入価格で比較した。すなわち神戸製鋼のP&H400Sは公表価格3320万円、P&H670Sは6700万円、石川島播磨重工のJCC200は7900万円である。ただし上記JCC200WAは特別注文のため、JCC200で読みかえている。

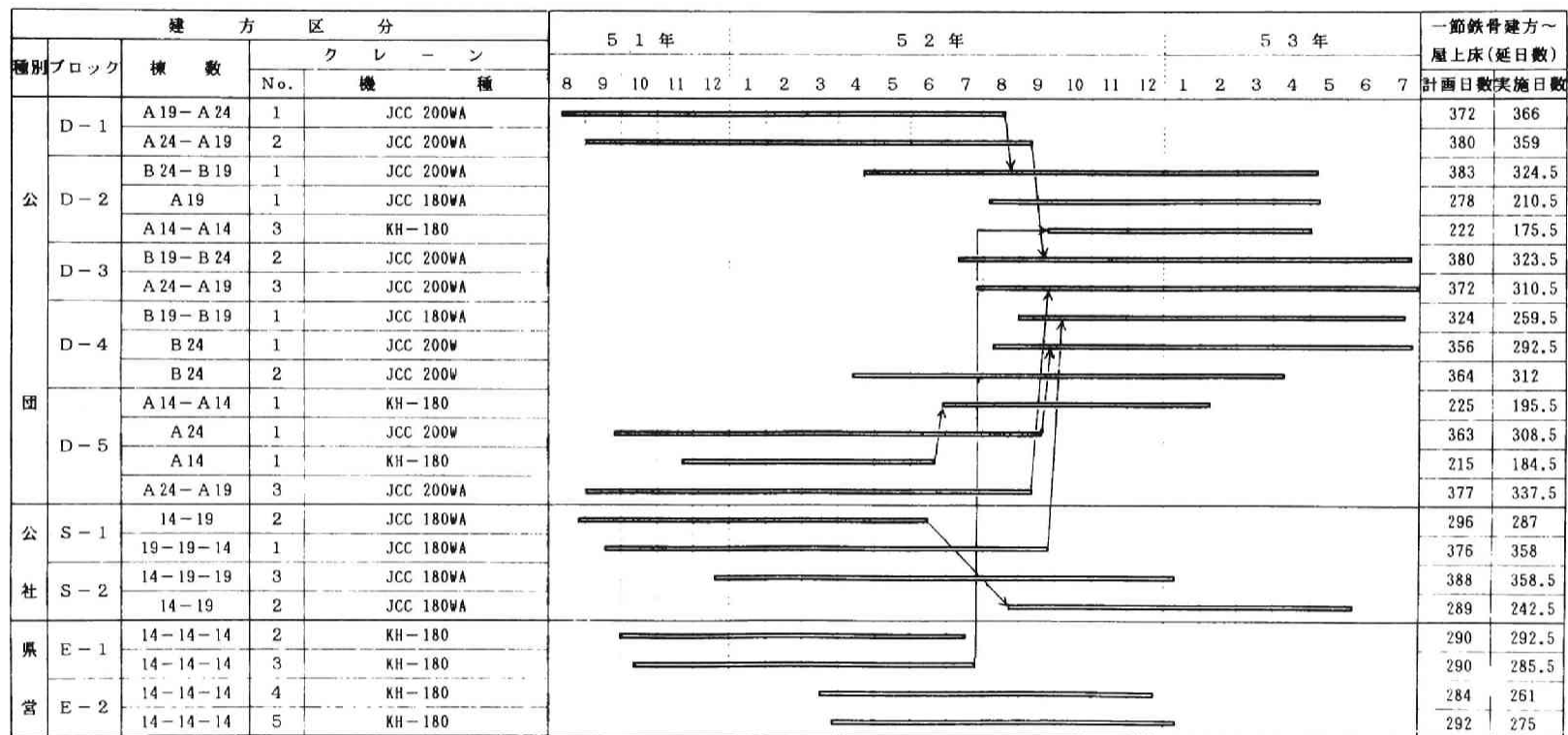


図4.14 住棟建方クレーン稼働計画工程表

| 建 方 区 分 | | | | | 5 1 年 | | | | | | | | | | | | 5 2 年 | | | | | | | | | | | | 5 3 年 | | | | | | | | | | | | 一節鉄骨建方～ 屋上床(延日数) | |
|---------|------|-----------|---------|-----------------------|-------|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|-------|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|-------|--|--|--|------|-------|--|--|--|--|--|--|---------------------|--|
| 種別 | ブロック | 棟 数 | ク レ ー ン | | 計画日数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 実施日数 | | | | | | | | | |
| | | | No. | 機 種 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | | | | | | | | | | | | | |
| 公 団 | D-1 | A 19-A 24 | 1 | JCC 200WA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 372 | 366 | | | | | | | | |
| | | A 24-A 19 | 2 | JCC 200WA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 380 | 359 | | | | | | | | |
| | D-2 | B 24-B 19 | 2 | 440S, 670S, JCC 200WA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 383 | 324.5 | | | | | | | | |
| | | A 19 | 1 | JCC 180WA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 278 | 210.5 | | | | | | | | |
| | | A 14-A 14 | 6 | KH-180 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 222 | 175.5 | | | | | | | | |
| | D-3 | B 19-B 24 | 6, 3 | KH-180, JCC 200WA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 380 | 323.5 | | | | | | | | |
| | | A 24-A 19 | 1 | KH-180, JCC 200WA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 372 | 310.5 | | | | | | | | |
| | D-4 | B 19-B 19 | 2 | KH-180, JCC 180WA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 324 | 259.5 | | | | | | | | |
| | | B 24 | 1 | 油圧, JCC 200W | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 356 | 292.5 | | | | | | | | |
| | | B 24 | 2 | JCC 200W | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 364 | 312 | | | | | | | | |
| | D-5 | A 14-A 14 | 1 | 550S, KH-180 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 225 | 195.5 | | | | | | | | |
| | | A 24 | 1 | JCC 200W | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 363 | 308.5 | | | | | | | | |
| | | A 14 | 1 | 670S, KH-180 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 215 | 184.5 | | | | | | | | |
| | | A 24-A 19 | 3 | JCC 200WA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 377 | 337.5 | | | | | | | | |
| 公 社 | S-1 | 14-19 | 1 | JCC 180WA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 296 | 287 | | | | | | | | |
| | | 19-19-14 | 2 | JCC 180WA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 376 | 358 | | | | | | | | |
| | S-2 | 14-19-19 | 3 | JCC 180WA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 388 | 358.5 | | | | | | | | |
| | | 14-19 | 1 | JCC 180WA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 289 | 242.5 | | | | | | | | |
| 県 営 | E-1 | 14-14-14 | 2 | KH-180 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 290 | 292.5 | | | | | | | | |
| | | 14-14-14 | 3 | LS-118RH | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 290 | 285.5 | | | | | | | | |
| | E-2 | 14-14-14 | 4 | 油圧, KH-180 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 284 | 261 | | | | | | | | |
| | | 14-14-14 | 5 | 油圧, 440S, LS-118RH | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 292 | 275 | | | | | | | | |

図4.15 住棟建方クレーン稼働実施工程表

のためであった。この期間は極力短縮される必要があると同時に本プロジェクトの大規模性、複雑性の一担をうかがわせるものである。

工期問題からその特徴をあげると以下のとおりである。

まず発注者、受注者双方による契約工期決定問題では、

①複数発注者プロジェクトのため、各発注者内部、発注者相互の意思決定を要すること、従って単独発注に比べ、契約方式、所有区分、費用負担等検討すべき点が多数発生するとともに、多段階の意思決定を必要とする。

②大規模であるため、学校開校、公共公益施設整備、水供給等、小規模プロジェクトではさほど考慮を要しない点に多くのエネルギーが必要となる。

③一斉入居が前提であるため、一部工事が遅れても全体の竣工がそのまま遅れる。さらに全体が遅れることを回避するにも棟別あるいは数棟単位での竣工計画が組まれていない。

④超高層集合住宅であるため、影、反射波両面の電波障害対策が必要不可欠である。などである。結局、延長期間中の発注者、受注者双方の費用負担増は少なからぬものがあった。

技術的、経済的な工期決定問題では、

①工期の決定過程は設計に追従した満足化の過程にすぎず、論理の一貫性も必ずしも十分とはいえない。

②しかし当該プロジェクトの施工計画プロセスでの思考過程の一部は前述のとおり比較的明確になっており、その過程を論理的にすることが可能と考えられる。

③施工計画プロセスでの技術的、経済的工期の検討内容の一部は基本設計プロセスで既に入手可及なものであり、②の論理的手順と一体となって、基本設計プロセスでの施工計画立案の支援システムとして構築することが可能である。

④本節で扱ったクレーン転用計画に即して具体的にいえば、一つは同じ施工単位内で低層から高層でクレーンを使い分け、工事工程、経済性の点で最適化をはかる方法、二つはSN表作成時にクレーンの資源状況を考慮しながら施工単位を決定し、経済的工期を設定する方法が構築可能である。これらは第9章、第10章において論述する。

4.2 建築部品の生産、供給問題

通常の設計と施工が分離され、請負契約締結後に施工計画が検討される場合、建築部品の生産、供給問題は単純化していえば需要量を上回る供給能力を持つ供給者を単独もしくは

は複数で確保する問題である。しかし設計施工一貫で且つ工場生産をも管理化においたプロジェクトではおのずと生産、供給問題は異なったものとなる。本節では後者の例をとりあげるが、前節の全体工程計画策定過程でみたように、設計段階において、生産計画を考慮した形跡はなく、建方計画作成後、部品供給者への打診を行っている。従って各工場での生産計画作成段階での建築部品の生産、供給問題としてとりあげる。

4. 2. 1 対象プロジェクト及び問題の概要

(1) 対象プロジェクトの概要

対象プロジェクトは前節と同じである。そのうち建築部品の生産、供給問題をPCa板、鉄骨、設備ユニットのいわゆる主要三品に限定して扱う。限定する意味は二つある。一つはこれら主要三品は当該プロジェクトの受注者である異業種共同企業体の構成企業が供給することになっており、工場生産と現場施工の一貫生産、供給問題とみることができる。二つは残余の部品は通常の方式と同様の調達方法であり、特にとりあげるこの意味がない。

ここでは主要三品の概略数量を表4.10に示しておく。(以下は資料が比較的良好に収集された公共住棟に限定して論述する。)鉄骨は総重量2.7万t、4万ピース、PCa板(サイト工場分(注1))3.1万㎡、1.7万ピース、488種類、PCa板(既設工場分)3.3万㎡、3.6万ピース、772種類、設備ユニットは2782個、6種類である。これらをそれぞれ25ヶ月、25ヶ月、建方工程に連動、22ヶ月で生産する。

(2) 問題の概要

表4.10 主要三品生産数量

主要三品の生産、
建方、在庫の推移
には顕著な差があ
り、その生産計画
上の違いを予想さ
せる。とりわけP
Ca板(サイト工
場)のそれが他の

| 部 品 名 発 注 者 | | 鉄 骨 (節) | PCa板(サイト) (階) | PCa板(既設) (階) | 設備ユニット (個) |
|----------------|-------|----------|------------------|-----------------|---------------|
| 公 団 | | 215 | 480 | 615 | 1,591 |
| 県 | | 84 | 180 | 226 | 596 |
| 公 社 | | 82 | 180 | 228 | 595 |
| 計 | | 381 | 840 | 1,069 | 2,782 |
| 全 体 量 | 総 量 | 26,989 t | 31,141 | 32,792 | — |
| | ピース数 | 40,028 | 17,262 | 35,889 | 2,782 |
| | 種 類 数 | — | 488 | 772 | 6 |

(注1) サイト工場とは当該プロジェクトの施工現場に隣接した仮設の工場をいい、従来から存在している工場を既設工場という。

部品と極端に異なっている。その原因は何か。

本項では主要三品の生産、建方、在庫の実態の分析と生産計画上の相違点を明らかにし、次項以降ではP C a板（サイト工場）に限定して詳述することにする。

具体的な生産計画は工期の決定後に策定される。その前提はあくまでも工期（工程計画）どおりに施工が可能なことである。主要三品は前述のとおり受注者による工場生産から現場施工までの一貫生産であり、生産する業種、能力などの違いにより生産計画上のいくつかの点で違いをみせる。いくつかの点とは生産の方針、先行生産の期間、生産量（ロット）、在庫量、建方との同調性である。（表4. 11）しかし当該プロジェクトの場合、着工の遅れ、とりわけ民間住棟の発注が遅れたことによりその生産計画は修正の必要が生じ、生産計画と実績の比較は意味を持たない。さらに生産計画は、初期には概略の計画であり、後に詳細な計画となるため、主要三品間の相違を同一時点での計画で明らかにすることができない。表4. 11はあくまでも工場生産に入る前段階の最終案と目される計画から個別に引用したものである。

表4. 11 主要三品の生産計画

注) — : 不明

| 生産計画の要素 | 鉄 骨 | P C a板(サイト工場) | P C a板 (既設工場) | 設備ユニット |
|--------------|---|--------------------------------------|------------------|------------------------|
| 生産の期間 | 大型部材の加工治具の種類を少なくし、治具を要する階段室のメガストラクチャー部分の部材をタイプ毎に集約生産。その他の部材は建方計画に応じて製作する。6 Gタイプ先行生産 | 6 Gタイプ先行生産 フロア単位生産方式 型枠組替回数の減少 | 建方の使用に合わせる | S N表を基準にピーク時にも品切れしないこと |
| 先行生産期間 | 4 ケ 月 | 4 ケ 月 | — | — |
| 生産量 (ロット) | 1000 t / 月 | 1フロア / 日 | 6 ~ 8 戸 / 日 | 8 個 / 日 |
| 在庫量 | 最大2.5ヶ月 | 最大217フロア | — | 最大193個 |
| 建方との同調性 | な し | な し | 連 動 | — |

従ってここでは工場生産と建方、在庫の実態の分析を行い月間生産量、建方との同調性、在庫量の点で主要三品間の比較、考察を行う。まずその基礎となる生産、建方の実績と在庫の資料を示す。

①主要三品の生産、建方の実績

図4. 16 ~ 4. 18にこれらの実績を示す。簡単に生産工場から施工現場への搬入方法、数値の範囲を説明する。鉄骨はエレベーター棟用の鉄骨を除く住棟用のものである。

鉄骨はファブリケータにおいて部材加工され、専用船、海上輸送で現場搬入される。水切岸壁以降トラックで塗装ヤードに運ばれ、吹付塗装後再びトラックで輸送、建方が行なわれる。生産数量は加工完了部材数であり、ストックは両加工場ストック及び現場塗装ヤードストックを合わせた数量である。

PCa板サイト工場では主として床板を、既設工場では壁板、役物を生産する。壁板、役物は既設工場よりトラック輸送（途中海上輸送）で現場ストックスタンドに仮置される。当初現場でのストック場所はクレーン旋回内のストックスタンドに限定されていたが、既設工場の敷地縮小に伴ない現場に壁板用ストックヤードが用意された。一方サイト工場で

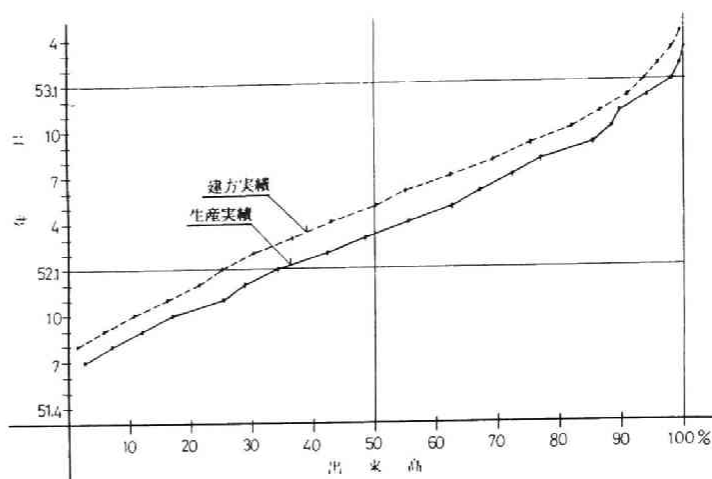


図4.16 公共住棟鉄骨部材生産建方累計

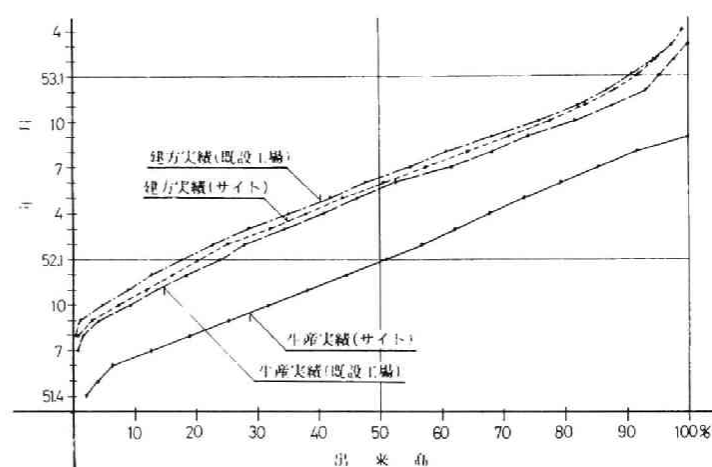


図4.17 公共住棟PCa板生産建方累計

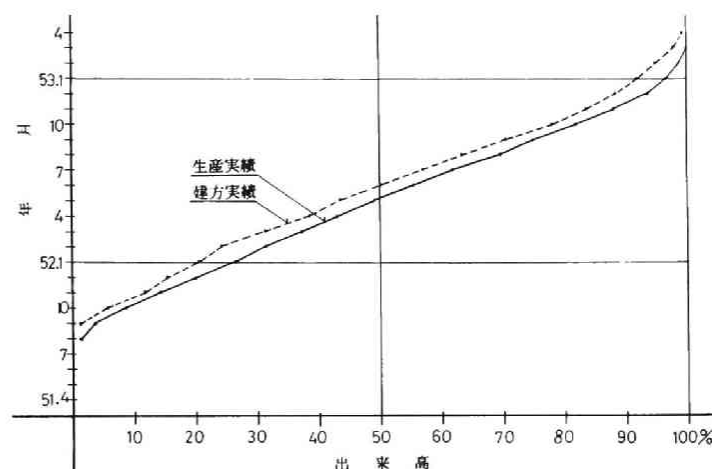


図4.18 公共住棟設備ユニット生産建方累計

はサイト工場のストックヤードに仮置された後、トラックで輸送、直吊りで揚重される。

設備ユニットは工場で組立て、トラック輸送（後海上輸送に切換）で現場に搬入される。工場の日産最大数量は8個、ストックは工場ストックヤード及び施工現場設備ヤードである。ここでいう生産数量は工場での生産数量、ストック量は工場及び現場でのストックを合わせた数量、建方数量はクレーンにて揚重されたものをいう。また現場最盛期の1年間の主要三品の生産、建方、在庫の実績値の平均を発注者別にまとめたものが表4.12である。

表4.12 主要三品の発注者別生産・建方・在庫の変動

| 期 間 S.51.10～S.52.09 (*1: S.51.04～S.52.03, *2: S.51.08～S.52.07) | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|-----------|----------|------------------|-----------|----------|------------------|-----------|----------|------------------|-----------|----------|------------------|
| | | 公 団 | | | 県 | | | 公 社 | | | 公 共 合 計 | | |
| | | \bar{x} | δ | δ/\bar{x} | \bar{x} | δ | δ/\bar{x} | \bar{x} | δ | δ/\bar{x} | \bar{x} | δ | δ/\bar{x} |
| 鉄骨 (節) | 建方計画 | 9.58 | 4.36 | 0.455 | 6.33 | 3.70 | 0.585 | 4.92 | 1.24 | 0.252 | 20.83 | 5.56 | 0.267 |
| | 生産実績 | 12.25 | 7.53 | 0.615 | *2 6.50 | 4.06 | 0.625 | 4.83 | 2.79 | 0.578 | 23.25 | 6.25 | 0.269 |
| | 建方実績 | 10.38 | 4.39 | 0.423 | 6.45 | 2.66 | 0.412 | 5.31 | 1.45 | 0.273 | 22.13 | 4.18 | 0.189 |
| | 在 庫 | 17.75 | 9.53 | 0.537 | 12.08 | 6.85 | 0.567 | 8.63 | 2.98 | 0.345 | 38.45 | 8.36 | 0.217 |
| サ イ ト 設 置 階 板 | 建方計画 | 20.08 | 7.26 | 0.362 | 12.75 | 5.50 | 0.431 | 10.83 | 3.59 | 0.331 | 43.67 | 11.39 | 0.261 |
| | 生産実績 | 33.75 | 17.37 | 0.515 | *1 15.00 | 6.86 | 0.457 | *1 12.08 | 5.09 | 0.421 | 52.25 | 6.38 | 0.122 |
| | 建方実績 | 22.25 | 6.88 | 0.309 | 13.83 | 5.84 | 0.422 | 11.75 | 3.36 | 0.286 | 47.83 | 9.51 | 0.199 |
| | 在 庫 | 104.92 | 43.08 | 0.411 | 75.50 | 38.14 | 0.505 | 60.25 | 13.58 | 0.225 | 240.67 | 16.13 | 0.067 |
| 既 設 階 板 | 建方計画 | 24.83 | 6.42 | 0.259 | 15.75 | 6.24 | 0.396 | 14.00 | 4.22 | 0.301 | 54.58 | 11.86 | 0.217 |
| | 生産実績 | 28.75 | 9.47 | 0.381 | 18.17 | 6.52 | 0.359 | 15.58 | 4.44 | 0.285 | 62.50 | 14.73 | 0.236 |
| | 建方実績 | 27.17 | 7.42 | 0.273 | 17.42 | 7.69 | 0.441 | 15.25 | 4.20 | 0.275 | 59.83 | 14.21 | 0.238 |
| | 在 庫 | 24.25 | 4.96 | 0.205 | 18.67 | 4.81 | 0.258 | 17.50 | 4.06 | 0.232 | 60.42 | 9.93 | 0.164 |
| ツ ブ 備 用 戸 | 建方計画 | 67.67 | 26.27 | 0.388 | 43.58 | 23.22 | 0.533 | 36.75 | 18.53 | 0.504 | 148.00 | 46.53 | 0.314 |
| | 生産実績 | 76.08 | 22.50 | 0.296 | 48.42 | 19.77 | 0.408 | 40.92 | 17.07 | 0.417 | 165.42 | 15.72 | 0.095 |
| | 建方実績 | 74.58 | 25.50 | 0.342 | 45.92 | 26.48 | 0.577 | 39.92 | 12.77 | 0.312 | 160.42 | 37.24 | 0.232 |
| | 在 庫 | 53.25 | 14.44 | 0.271 | 49.83 | 20.68 | 0.415 | 32.33 | 10.31 | 0.319 | 135.42 | 35.73 | 0.264 |

②先行生産の期間

生産開始から建方開始までの期間を先行生産の期間とすれば、鉄骨、P C a 板（既設工場）、設備ユニットはいずれも1ヶ月程度、P C a 板（サイト工場）は4ヶ月である。この差はサイト工場の試運転期間、6 G タイプ先行生産といった製造計画上の要因による。ただし鉄骨部材も生産計画は4ヶ月の先行生産としながら現実には1ヵ月であったこととは顕著な違いである。

③月間生産量とその安定性

平均月間生産量は全生産量との百分率で表わして鉄骨6.1%、P C a 板（サイト）6.2%、P C a 板（既設）5.8%、設備ユニット5.9%で三品ともほぼ同じ値である。生産期間がいずれも同じ程度であることを考えれば当然ともいえる。生産量の安定性を変動

係数 (σ/\bar{x}) でみると、鉄骨 0.269、PCa板(サイト) 0.122、PCa板(既設) 0.236、設備ユニット 0.095 となっており、設備ユニットがきわめて安定しており、ついで PCa板(サイト) である。しかしいずれの部品も発注者別にみると 0.28 以上の変動係数を有しており、安定的でない。発注者別に一定のロット生産を行った結果である。

④生産と建方の同調性

同調性を生産量と建方量の差である在庫量を使って表わすことにする。つまり建方のペースが促進されれば生産量も増加し、建方のペースが減速されたならば生産量も低下する場合、在庫量は一定に近く、従って在庫量の変動係数は 0 に近づく。本論文ではこの場合を同調性が高いといい、同調度を在庫量の変動係数の逆数、つまり (\bar{x}/σ) で与える。ただし平均在庫量が平均生産量に比べ、極めて大である場合は同調度は 0 に近づくが、同調性が高いとはいわない。PCa板(サイト) がこのケースに該当する。いま仮にこの除外する点を平均在庫量が平均生産量の 2 倍以上の点とすると、PCa板(サイト) は発注者別も含めて除外される。残余のものについて同調度をみると発注者別、公共合計いずれで比較しても PCa板(既設) の同調度が最も高くなっている。

⑤在庫量

平均在庫量を (平均在庫量) / (平均建方量) で表わした在庫率 1 及び (平均在庫量) / (全生産量) で表わした在庫率 2 でみる。主要三品別に在庫率 1、2 をみると鉄骨で在庫率 1 が 1.74、在庫率 2 が 10.1%、PCa板(サイト) でそれぞれ 5.03、28.7%、PCa板(既設) で 1.01、5.7%、設備ユニットで 0.84、4.9% である。PCa板(サイト) の在庫率がきわだって大きい。ちなみにその最大在庫量は昭和 52 年 2 月時点で 260 フロア分、全生産量の 30.9%、当初予定在庫量から 19.8% 増となっている。

⑥工場生産の特性

工場生産の特性を雨天時の作業、生産能力、日生産量の増加、生産方式の点で考察する。雨天時の作業は PCa板サイト工場を除き可能である。サイト工場では生産計画を策定する際に天候要因を考慮しなければならない。雨天を見込めば在庫量は大きく見積もらねばならず、さらに実際上雨天でなく、工場が稼働するとさらに在庫量が増大する。また工場生産能力に余力があるかどうかは先の同調度に関係する。すなわち余力があれば同調度は高くすることが可能であるが、余力がない場合そうはならない。PCa板工場の生産能力

の規定はむずかしいが仮設であるサイト工場に関する限り余力を見込んだ工場を計画することはまずない。一方鉄骨工場は40%、設備ユニット工場は80%（注1）を当該プロジェクトの生産に当てている。さらに在庫量が不足となったときにどの程度日生産量を増加することが可能かも在庫量、同調度に関係する。日生産量を増加させることが不可能な場合在庫量は増大することとなり、そうでない場合減少する。PCa板工場はサイト、既設いずれの場合も1日1サイクルであり、それ以上は不可能である。一方鉄骨、設備ユニットは時間延長をすればそれが可能である。生産方式が多品種少量生産、少品種多量生産のいずれであるかも在庫量、同調度と関係する。すなわち多品種少量生産の場合段取り替えが多く、その間の生産量の減少を見込んで在庫量を増加する傾向があり、段取り替えを減少させるため一定のロット生産をした場合も在庫量は増大する。当該プロジェクトのPCa板はサイト工場分で488種、17,262ピース、従って1種類当たり平均で35.4ピース、既設工場分で772種、35,889ピース、1種類平均46.5ピース、設備ユニットは6種、2,782個、1種類当たり平均463.7個である。従ってPCa板は設備ユニットに較べ多品種少量生産であり逆に設備ユニットは少品種多量生産であるといえる。なお鉄骨の部品種類数は不明である。（図4.19）

以上みたように主要三品の生産、供給において設備ユニット、鉄骨部材、PCa板既設工場生産分はいずれも約1～2ヶ月、全生産量の数パーセントの先行生産であり、PCa

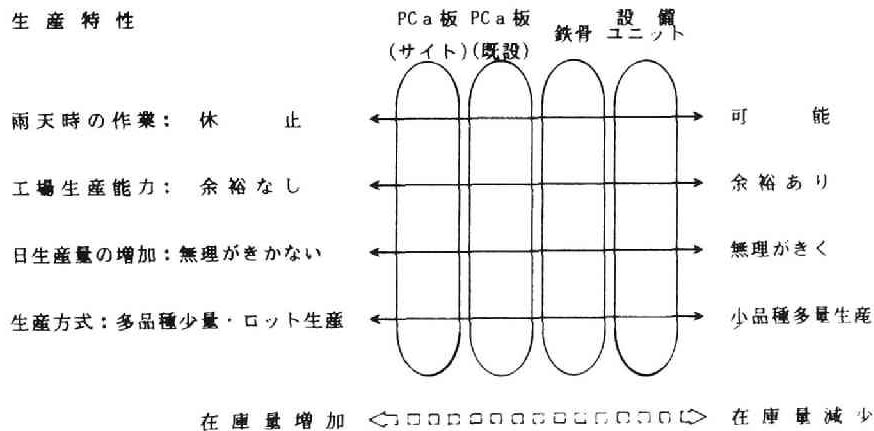


図4.19 生産特性と在庫量の関係

（注1）鉄骨工場の1月生産量は1000t、生産能力は2500t、従って1000/2500=40%とした。設備ユニット工場は最盛期1月生産量160個、生産能力は8個/日×25日=200個、従って160/200=80%となる。

板サイト工場生産分のそののみが顕著な差を有している。次項以降でPCa板サイト工場の生産、供給問題をさらに詳細に検討することにする。すなわちいかなる生産計画が用意され、生産、建方、在庫の計画と実績がどう変化し、その要因がどこに求められ、結果として在庫量の増大が経済的であったかどうかについて論述する。

4. 2. 2 問題の構造

ここではPCa板サイト工場のマネジメントの観点で問題の分析を行った。問題の構造を図4. 20に示す。以下各要素について論述する。

(1) 環境

サイト工場の生産計画は4. 1節で論述した躯体建方工程のSN表の完成後詳細化する。従ってSN表が確定することがまず第一の環境条件である。もちろんSN表を作成するには概略のサイト工場の生産能力を予想しなければならない。この概略の生産能力の予想とSN表の確定は相互依存적である。提案競技の応募案から現実のサイト工場の能力の決定に至る経緯は図4. 21のとおりであり、サイト工場の概要を図4. 22に示す。（*9）

(2) 制約

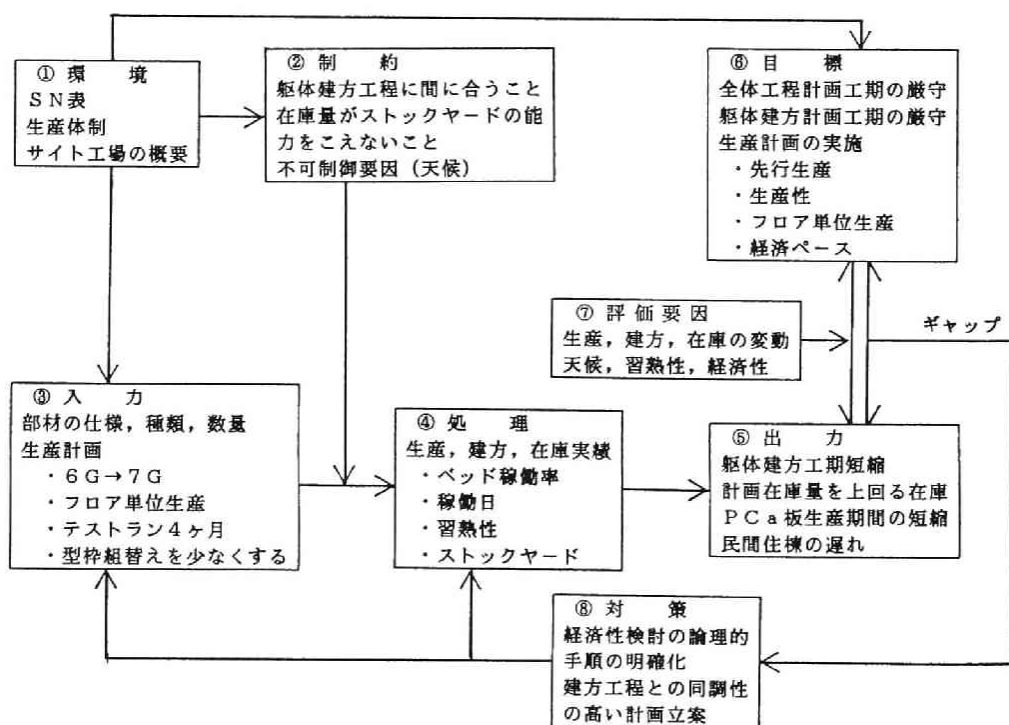


図4. 20 問題の構造

具体的な生産計画は上記環境条件であるサイト工場の計画と併行して策定される。生産に関する制約には三つある。一つは天候等不可制御要因、二つは建方工程に間に合うこと、三つは在庫量がストックヤードの能力を超えないことである。建方工程に間に合うこととは必ずしも生産と建方を同調さ

せることを意味するものではない。前項でみたようにこの制約条件の下に生産と建方を切り離して考え、サイト工場の経済的生産方法、管理方式が独自に検討可能とした。またストックヤードの制約は本来生産計画に大きく影響するが、当該プロジェクトのサイト工場に関する限りその制約はまずなかったと考えてよい。なぜなら建方期間23ヶ月に対して公共住棟のサイト工場の1ヶ月の在庫量の最大が全生産量の30.9%を占めること、ストックヤードの費用負担がサイト工場に課されていないことなどの理由による。

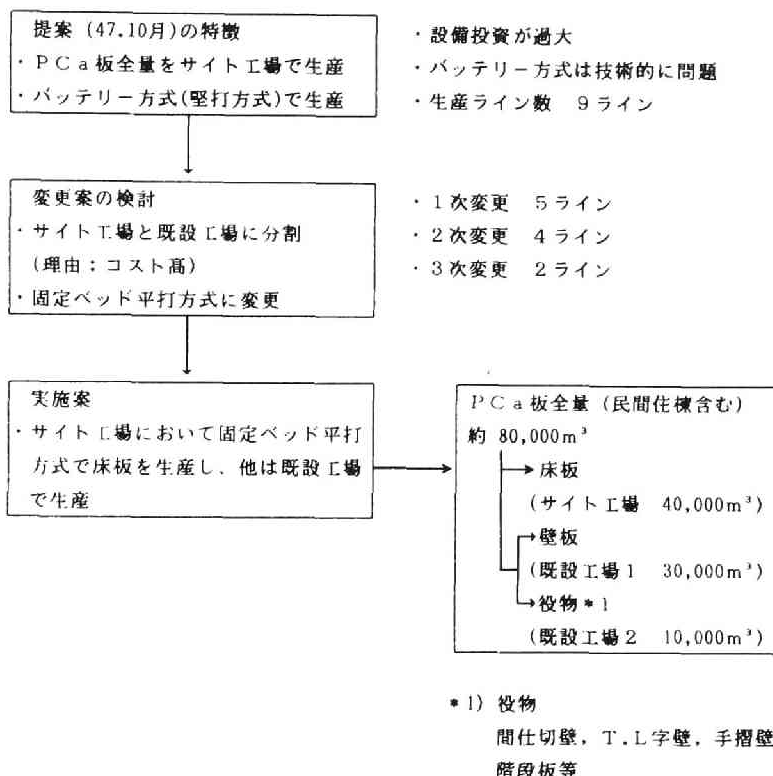


図4.21 サイト工場計画の経緯

| | | |
|---------|----------|-----------------|
| ・ 製造能力 | Aライン | 26ベッド(73.0m³/日) |
| | Bライン | 26ベッド(57.0m³/日) |
| ・ 工場面積 | 製造ヤード | 4,200m² |
| | 鉄筋加工ヤード | 4,200m² |
| | ストックヤード | 34,600m² |
| | 計 | 43,000m² |
| ・ 成型設備 | 一般床用定盤 | 30ベッド |
| | バルコニー用定盤 | 12ベッド |
| | 階段踊場用定盤 | 6ベッド |
| | 屋根板用定盤 | 4ベッド |
| | 計 | 52ベッド |
| ・ 工場作業員 | PCa工 | 60名 |
| | 鉄筋工 | 10名 |
| | 左官工 | 10名 |
| | オペレータ | 7名 |
| | ボイラーマン | 2名 |
| | 検査工 | 2名 |
| | 補修工 | 4名 |
| | 型枠工 | 2名 |

図4.22 サイト工場の概要

(3) 入力

サイト工場において生産されるP C a板は公共住棟で床板を主体として488種類、17,262ピースである。(詳細は表3.4参照) その仕様は次のとおり。

| | | |
|---------|----------|---------|
| 部材仕様 | コンクリート比重 | 1.8 |
| P C a板厚 | 壁 | : 100mm |
| | 床(6Gタイプ) | : 190mm |
| | 床(7Gタイプ) | : 230mm |
| | オムニア板 | : 70mm |

生産計画は次の4つを基本とする。①1日1サイクル、②型枠の組替えを少なくするために公団住棟2タイプ(6G, 7G)を同時生産ではなく、6Gタイプ先行連続生産、③1フロア分の床板をまとめて生産するフロア単位生産方式、④試運転のため建方開始より4ヶ月先行生産、これらを基本にS N表よりプロジェクト期間全体での生産計画表を作成する。具体的にはS N表よりフロアNo.別、月別、発注者別の生産、出荷、在庫のバランス表を作成し、最終的にはベッド別打設計画表に展開する。

(4) 処理

ここでいう処理とはサイト工場での生産活動のことである。躯体建方工程が計画に較べ2ヶ月程度短縮され、サイト工場の生産が計画どおりであれば在庫量の減少となるが、実際は計画時の在庫量を上回るものであった。(図4.23)つまり躯体建方工程の短縮によるP C a板需要量の増大を超える生産量の増加があった。次項の処理過程でこの在庫量増加の要因と経済性の検討をする。

(5) 出力

公共住棟に限定していえば躯体建方とは2ヶ月の短縮、サイト工場のP C a板生

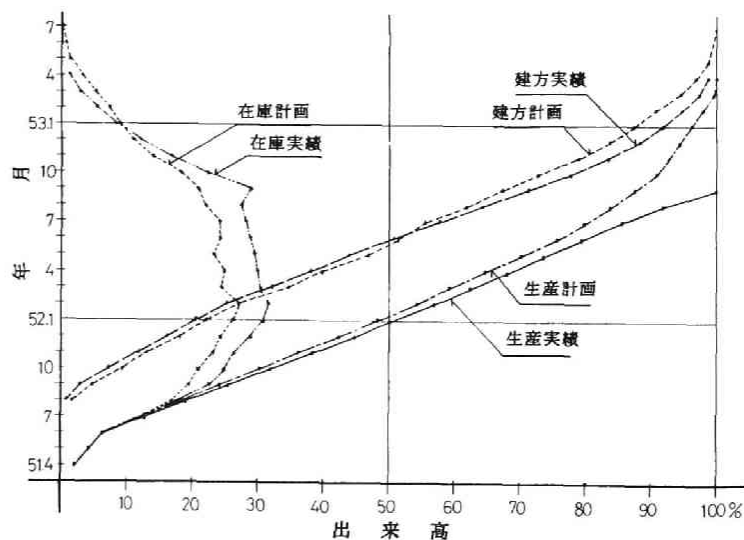


図4.23 P C a板生産建方計画と実績

産は7ヶ月の短縮となり、その差は大幅な在庫量の増加となって現われた。発注者別にみた生産期間は次のとおり。

| 発注者 | 生産期間（計画） | 生産期間（実際） |
|-----|---------------------|---------------------|
| 公団 | S 5 1 . 4 ~ 5 3 . 4 | S 5 1 . 4 ~ 5 2 . 9 |
| 公社 | S 5 1 . 4 ~ 5 2 . 7 | S 5 1 . 4 ~ 5 2 . 5 |
| 県 | S 5 1 . 4 ~ 5 2 . 3 | S 5 1 . 4 ~ 5 2 . 3 |

生産期間の短縮は公団のそれが短縮されたことによる。発注者別の在庫量を図4.24に示す。

（6）目標

生産計画の前提となったSN表の躯体建方計画に影響を及ぼさないことがPCa板サイト工場の生産、供給問題の最大の目標である。そのためには生産計画通りの活動を実施すべきであり、生産

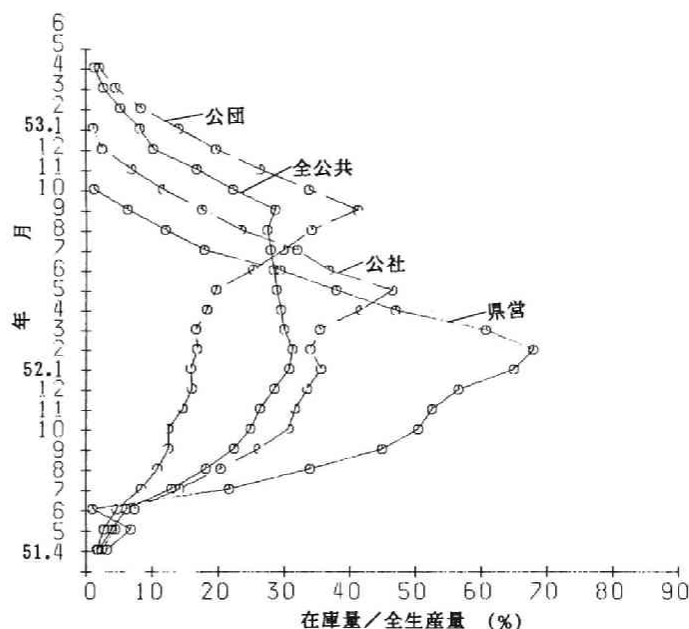


図4.24 PCa板(サイト)在庫量

計画の各種の目標、たと

えば4ヶ月の先行生産、フロア単位生産、予定の生産性の確保などが具体的な目標となる。またそれらの範囲内での経済的生産ペースも検討されることとなる。(図4.25)

（7）評価要因

結果は前述のとおり在庫量が拡大した。従って評価要因としてなぜ在庫量が拡大したかの把握が可能なものでなければならない。その要因は五つ。①ベッド稼働率、②稼働日、③ストックヤード、④躯体建方工程の進捗、

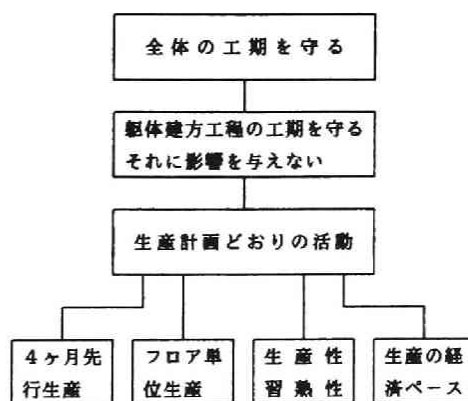


図4.25 目標の階層性

⑤在庫量拡大の経済性。

(8) 対策

当該プロジェクトの躯体建方工程に何らの支障も生ぜしめることなく、サイト工場からのPCa板供給が実施された点で満足のいくものであった。ただしこの膨大な在庫量が果たして適当であったか否かは次の二点の検討を待たねばならない。一つは経済性検討のための論理的手順を明らかにすること、二つはPCa板生産と建方工程との同調性を高める戦略を構築すること。本論文では次項において前者の点で若干の考察を行う。

4.2.3 PCa板在庫量と経済性の検討(処理過程)

(1) PCa板在庫量

図4.23からわかるようにPCa板の計画時在庫量は、52年2月の全生産量の27.3%を最高にかなり高い値を示している。生産計画時点では生産能力に余力を見込み、且つ先行生産を意図的に大きくし、安全度を高めたものと解される。さらに実績における在庫量は計画のそれを上回っている。その拡大要因をあげると次のとおり。

①ベッド稼働率の上昇

図4.26に示すとおり計画時のベッド稼働率(注1)は60.1%、実績のそれは71.0%である。これは労働者の習熟による休止ベッドの減少、セット換えに要する日数の減少などによる。実績における製造品種別ベッドの稼働率を示すと図4.27、図4.28のとおり。この図より平均して稼働率が高いことがわかる。

②稼働日の増加

表4.13 月別稼働実績

月平均稼働日は計画で20日、実績で

20.9日、約1日の増加。(表4.13)

| 年 月 | 51 | | | | | | | | | | | | 52 | | | | | | | | | | | | 53 |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|----|
| | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 稼働日 | 10 | 20 | 20 | 24 | 19 | 20 | 20 | 26 | 23 | 21 | 21 | 22 | 23 | 19 | 16 | 25 | 22 | 23 | 22 | 23 | 20 | 18 | | | |

③ストックヤード拡張

計画時のストックヤードは、約6300㎡、2ヶ月分の面積である。結果的には在庫量の増加に伴って約2.5倍のスペースが必要となった。従って当該プロジェクトの生産方式はストックヤードの制約条件がゆるい場合のものと見なし得る。

④①～③により生産量が増加する一方で、建方実績は図4.23に示すとおり計画値を(注1)

$$\text{稼働率} = \frac{\text{稼働ベッド}}{\text{稼働日} \times 52 \text{ ベッド}} \times 100 \quad , \text{月単位}$$

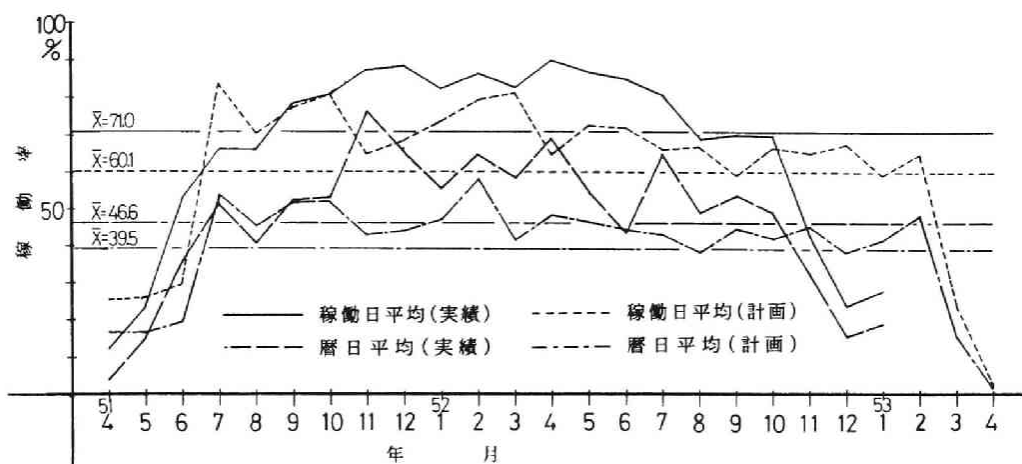


図4.26 サイト工場月別平均稼働率

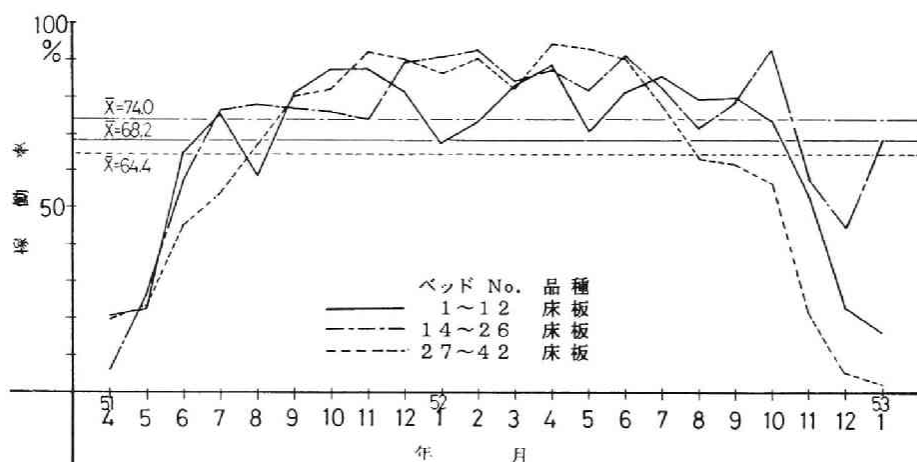


図4.27 ベッド別稼働率

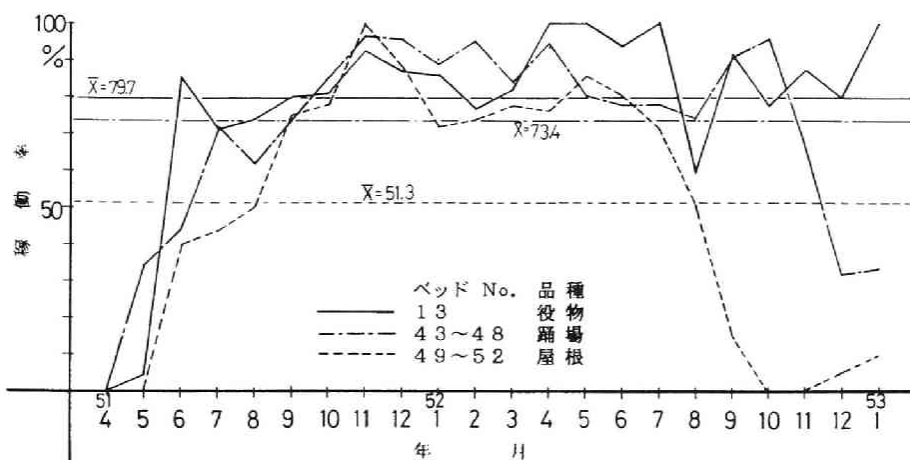


図4.28 ベッド別稼働率

やや上まわる程度の上昇であったことにより、その差が在庫量の拡大につながった。

(2) 在庫量拡大の有利不利

在庫量拡大の有利な点としては、①建方工程が安定する、②生産計画どおりの工場稼働ができる、③納品遅れがないため、検査・検収の確実性が増す、④破損品の手直し等が可能である、⑤工場設備（特にリースによる重機）の損料の減少、などがあげられる。

反面、不利な点としては、①在庫量の拡大にともないストックヤードの拡張が不可欠で、拡張が困難な場合には応々にして6段積み原則が守られない、②製品のストック期間が長くなるため、輪木等の板への影響（たとえば、そり、よごれ）が出、又、金物にさびが発生する、③ストックヤードの借地料が増大する、④製品代金の支払いは建方完了時であり、一方工場労務等の支払は月締め支払のため、その間の金利負担が増大する、などがあげられる。

次にこの在庫量の多寡の経済性の検討を行うことにする。

(3) 経済性の検討

一般に建築プロジェクトの元請と下請間の支払条件は月単位の納入または出来高払いである。出来高の何割を支払うか、また現金と手形の割合は企業により、プロジェクトにより異なり一概にはいえない。P C a 板サイト工場もその例外ではなく、サイト工場への納

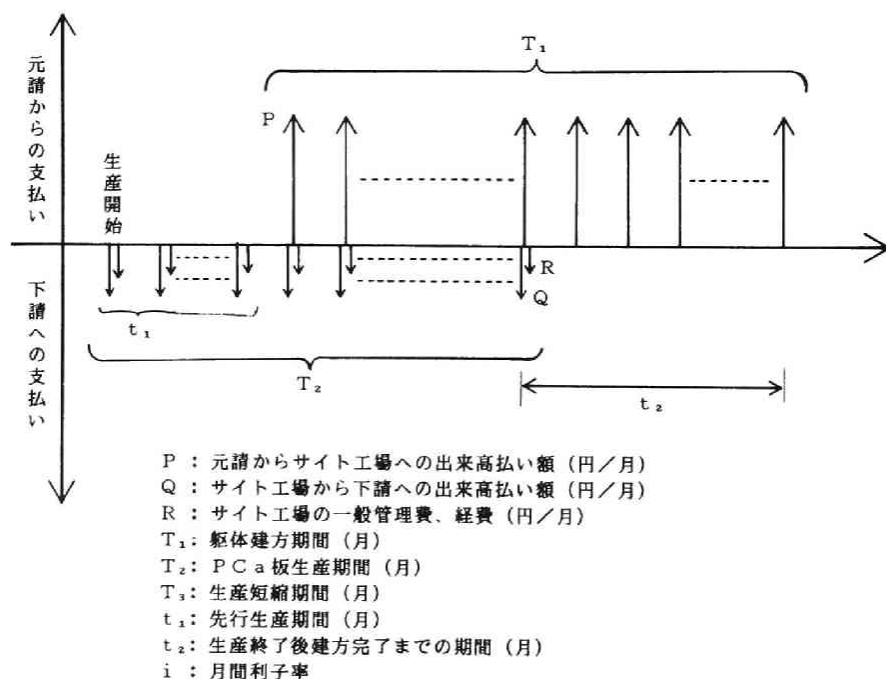


図4.29 サイト工場の経済計算モデル

入業者、労働者には毎月支払い、P C a 板の納入先である元請の共同企業体からは揚重月に支払いを受ける。従ってサイト工場の在庫は、下請への支払いは完了し、元請からは未収であることを意味し、その量が多いことは未収金が多いことと同じである。ここに在庫量が多いが生産量を多くして工場を早期に撤去した方が有利か否かの経済性の問題が生ずる。当然のことながらコストに関する情報は外部から観察してつかめるものではなく、ここではモデル的に検討するにとどまる。

いま図4.29に示すように元請からサイト工場、サイト工場から下請への支払い高、生産、建方期間等を定める。簡単のためP, Q, Rは月によって変化せず、出来高は100%現金払いとする。また生産期間を短縮した場合、Rはその期間で変化せず、Qは生産期間を短縮していない場合と総額で同じとする。つまり $T_2 Q = (T_2 - T_3) Q'$ 、 $Q' = T_2 Q / (T_2 - T_3)$ 、ここに Q' は期間を短縮した場合の下請への月間出来高支払い額。

さて生産期間を短縮しない場合のサイト工場の利益(注1)を I_1 として現価で求めると、

$$I_1 = \frac{P}{(1+i)^{t_1+1}} + \frac{P}{(1+i)^{t_1+2}} + \cdots + \frac{P}{(1+i)^{t_1+T_1}} \\ - \left\{ \frac{Q}{(1+i)} + \cdots + \frac{Q}{(1+i)^{T_2}} \right\} - \left\{ \frac{R}{(1+i)} + \cdots + \frac{R}{(1+i)^{T_2}} \right\} \cdots (1)$$

一方生産期間を T_3 だけ短縮した場合の利益を I_2 として現価で求めると

$$I_2 = \frac{P}{(1+i)^{t_1+1}} + \frac{P}{(1+i)^{t_1+2}} + \cdots + \frac{P}{(1+i)^{t_1+T_1}} \\ - \frac{T_2}{(T_2 - T_3)} \cdot Q \left\{ \frac{1}{(1+i)} + \cdots + \frac{1}{(1+i)^{T_2 - T_3}} \right\} \\ - R \left\{ \frac{1}{(1+i)} + \cdots + \frac{1}{(1+i)^{T_2 - T_3}} \right\} \cdots (2)$$

(注1)「利益は差額概念として特徴づけられ、その算定方法は2つある。第1は、財産法とよばれるもので、期末資本から期首資本を差し引いた差額である。…第2は、1会計期間の総収益から総費用を差し引いた差額である(損益法)。」さらに利益の概念にはいくつもある。「売上高から売上原価を差し引いた差額を売上総利益、売上総利益から販売費および一般管理費を差し引いた差額を営業利益とする。…営業利益に営業外利益を加え、営業外費用を差し引いた差額を経常利益とする。…」(*10)ここでは簡単のため収益(P)から費用(R+Q)を差し引いた差額としておく。

ここで $r = 1 / (1 + i)$ として (1)、(2) 式を整理すると

$$I_1 = P r^{t_1+1} \cdot \frac{1 - r^{T_1}}{1 - r} - (Q + R) r \frac{1 - r^{T_2}}{1 - r} \dots\dots\dots (3)$$

$$I_2 = P r^{t_1+1} \frac{1 - r^{T_1}}{1 - r} - \left\{ \frac{T_2}{T_2 - T_3} \cdot Q r + R r \right\} \frac{1 - r^{T_2 - T_3}}{1 - r} \dots\dots\dots (4)$$

いま生産期間を短縮した方が有利な場合を考えると

$$I_0 = I_2 - I_1 > 0 \dots\dots\dots (5)$$

を満たす時である。(5) 式に (3)、(4) 式を代入すると

$$\begin{aligned} I_0 &= (Q + R) r \frac{1 - r^{T_2}}{1 - r} - \left\{ \frac{T_2}{T_2 - T_3} \cdot Q r + R r \right\} \frac{1 - r^{T_2 - T_3}}{1 - r} \\ &= \frac{Q r}{1 - r} \left\{ 1 - r^{T_2} - \frac{T_2}{T_2 - T_3} (1 - r^{T_2 - T_3}) \right\} + \frac{R r}{1 - r} (r^{T_2 - T_3} - r^{T_2}) \end{aligned} \dots\dots\dots (6)$$

(6) 式の Q、R の係数をそれぞれ A、B とおくと

$$I_0 = A Q + B R$$

いま、 $I_0 = 0$ を解くと

$$Q/R = -B/A \dots\dots\dots (7)$$

$I_0 = 0$ は短縮した場合としない場合が等しくなる点を意味しており、この時の値 Q/R を等価点とする。

ここで当該プロジェクトの値を代入する。すなわち $T_1 = 22$, $T_2 = 25$, $T_3 = 7$, $t_1 = 4$, $t_2 = 3$ を代入して、月間利子率の変化によって等価点 Q/R をプロットしたのが図 4.30 の太実線である。たとえば $i = 0.01$ のとき $Q/R = 7.478$ である。

今利子率 0 を考えると (1)、(2)

式より

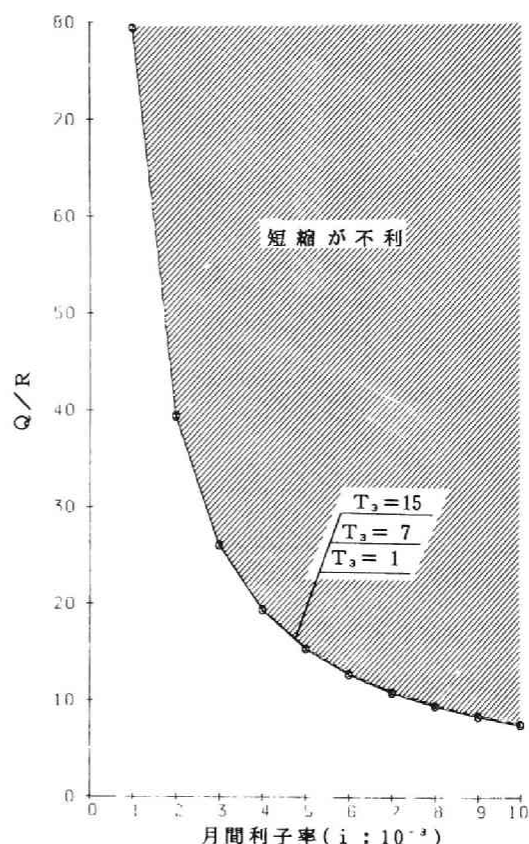


図 4.30 生産期間短縮の有利不利

$$I_1 = P T_1 - (Q + R) T_2$$

$$I_2 = P T_1 - Q T_2 - R (T_2 - T_3)$$

$$\therefore I_0 = I_2 - I_1 = R T_3 \geq 0$$

従って利子率を考慮しない場合は短縮の方が常に有利で、短縮月数が大きいほど有利さ (I_0) も大きくなる。

利子率が徐々に増加すると等価点は低下する。一方利子率を固定して短縮期間 T_3 の変化による Q/R の変動をみると、 T_3 が大きくなれば Q/R も大きくなる。しかし Q/R の T_3 による変化は i による変化に比べ大きくない。(図4.30には $T_3 = 1, 7, 15$ の場合の Q/R をプロットしているが、三本の曲線がほぼ重なっている。)

今元請からPCa板サイト工場への支払い総額が20億円、そのうち70%が材料、労務費等としてサイト工場から

下請企業に支払われるとすると、仮定により Q 、 R 共毎月均等であるから、

$$Q = 20 \text{ 億円} \times 0.7 / 25 =$$

$$56 \text{ 百万円/月。}$$

$$i = 0.01 \text{ とすると}$$

$$Q/R = 7.478,$$

従って R つまり工場設備のリース料、サイト工場職員の給与等一般管理費、経費が749万円/月以上であると生産期間を短縮した方が有利、逆に749万円/月未満であると生産期間を短縮しない方が有利である。ちなみに Q 、 R が今の例と同じ値をとるとすれば、生産期間が3ヶ月までは短縮すればするほど不利となり、それをこえると短縮す

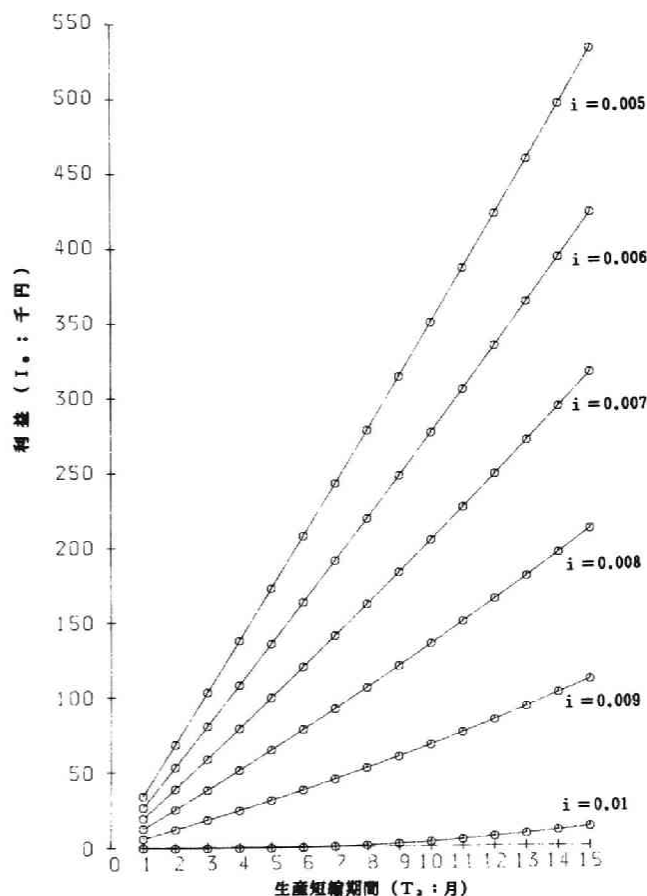


図4.31 生産期間短縮と利益の変動

るほど有利となるが、7ヶ月以上の短縮が見込めない場合計画どおり生産することよりも有利とならない。しかし i が $0.01 > i$ であれば、生産期間を短縮するほど利益は大きくなる。これは元請からサイト工場への支払とサイト工場から下請への支払のずれによる金利負担が軽減し、短縮によってサイト工場の経費等 R が節約できるためである。（図4.31）

4.2.4 まとめ

当該プロジェクトの建築部品の生産、供給問題をまとめる。

（1）当該プロジェクトは工場生産をもコントロール下においたプロジェクトであり、施工計画と生産計画は相当程度緊密に計画されると目された。現実には全体の施工計画が優先的に作成され、それによって求められた主要部品の生産期間を工場生産側が満足させることができたため、生産、供給問題は顕在化しなかった。同時に生産計画は満足化されたが、最適化の試みはなかった。且つPCa板（サイト）、鉄骨では生産計画立案に際し、施工計画とは完全に切り離して考えるとされた。

（2）基本設計プロセスで主要部品の生産、供給問題が検討された形跡はない。詳細な生産計画は基本設計プロセスで検討できず、施工計画プロセスで実施されるが、プロジェクト全体の最適化のためには、全体工程計画を技術的に支え、経済性を獲得するための主要部品の生産、供給計画の概略、あるいは実現可能性が工期の検討と併行して実施される必要がある。場合によっては設計時点で主要部品の一部の使用を生産、供給上の問題から断念せざるを得ないこともある。

（3）PCa板サイト生産は、図4.26～4.28の稼働率からわかるように、工場生産能力が過大とはみられず、生産開始時期と建方開始時期のずれが大きいこと、及び工場稼働率の上昇、生産期間の短縮により在庫量が増加したことが読みとれる。さらに当該プロジェクトでは民間住棟建設工事の発注が遅れたため、公共住棟のみ先行生産されたことも在庫量増加の一因になっている。

（4）この在庫量の増加と生産期間の短縮の経済性の点での有利不利は、上述のモデルで試算したように、月間利子率が1%未満であるならば在庫量を増加させても、生産期間を短縮した方が有利である。この経済的有利性は当該現場の特殊性、たとえばストックヤードの量的制約が緩かったこと、借地料が不用であったことにもよる。

4.3 内装プレハブ工事の工数計画問題

基本設計プロセスでは内部仕上の決定に際し、経済性、工期の点で内装プレハブにするか、在来型現場施工にするか、といった選択問題が存在する。その場合内装プレハブ工事の工数は一定程度正確に予測できることが必要である。経験の豊富な場合、その可能性はあるが、新規性が強い場合問題となる。さらに施工計画プロセスにおいても問題は同じである。

本節では新規性を有する内装プレハブ工事の工数計画問題の実態を観察する。

4.3.1 対象プロジェクト及び問題の概要

(1) 対象プロジェクトの概要

対象プロジェクトの概要を簡単にまとめておく。

プロジェクト名称 芦屋浜高層住宅街建設工事

建 物 用 途 集合住宅

建 築 場 所 芦屋市

建 築 主 兵庫県、兵庫県住宅供給公社、日本住宅公団、民間

設計及び設計監理 異業種企業連合

施 工 者 異業種共同企業体

工 期 35ヶ月

工事面積 敷地面積203,000㎡、建築面積18,150㎡、延床面積225,210㎡

全 戸 数 3384戸（県596，公社595，公団1591，民間602）

棟 数 52棟

住宅内内装工事は

表4.14に示すごとく各種あるが、ここではいわゆる造作工事と内装パネル工事を総称して内装プレハブ工事と呼び、研究の対象としている。ちなみに内装プ

表4.14 住戸内工事一覧表

| | | | |
|-------|------|---|-----------|
| 住戸内工事 | 内装工事 | <ul style="list-style-type: none">* 造作工事* 内装パネル工事 (防露ボード工事) | 内装プレハブ工事 |
| | 設備工事 | <ul style="list-style-type: none">塗装工事木製建具吊込工事天井クロス張工事カーペット敷込工事タタミ・フスマ取付工事配管工事天井廻縁電気入線工事* 設備ユニット工事 | |
| | | | * バック対象工事 |

レハブ工事は上記全住戸で実施される。このプロジェクトの内装はプレハブ部品化されており、設備ユニットを含み1戸当り4個にとりまとめパックされている。コンクリート板躯体の上階床建込み以前に、クレーンによって揚重、住戸内に仮置され、工事は建方と併行して、住戸内では開梱から始められる。部品の製造、パック化、施工の分担関係を図4.32に示す。

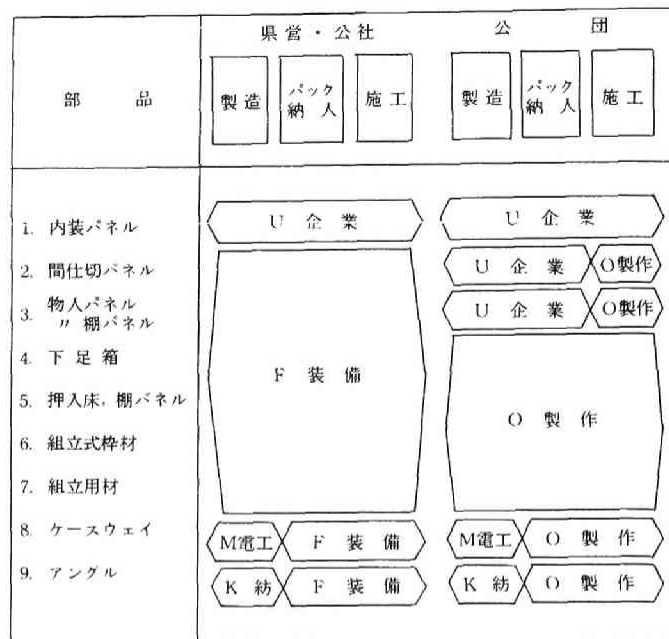


図4.32 部品の製造、パック、施工の分担

(2) 問題の概要

ここにとりあげる内装プレハブ工事ではプロジェクトの新規性と大規模長期な点で工数の計画数量が必ずしも適切に設定されたとはいえず、現実には工事の当初から工数は計画値を下回った。工事の進捗と共に工数は習熟性の効果によってさらに低減した。本プロジェクトの内装プレハブ工事の特徴は次の三つ。

①作業をできるだけ集約化し、人格的に同一、あるいはチームとして多能工的に作業処理が可能。

②造作工事に使用する部材の部品化率を高くし、現場作業を極力減らした。このことによって安定した品質の確保、現場での廃棄物の量の低減を達成。

③住宅毎のユニット化、パック化により部材輸送、供給の合理化を達成。

ところで本論文2.3節で論述した問題の定義でいえばこの内装プレハブ工事の工数計画問題は表面上問題を形成していない。つまり目標値（計画値）である工数から実際の工数は大幅に低減しており、問題は潜在化している。しかし工事着手時点で既に計画工数を下回った点で問題なしとしない。

ここでは目標値の設定につめの甘さがあったと考え、問題としてとりあげる。従って問題の分析は目標値と実際のギャップ、及び計画工数設定の論理構成の二つについて行う。

4.3.2 問題の構造

ここでは内装プレハブ工事の施工計画立案者の観点で問題の分析を行った。問題の構造を図4.33に示す。以下各要素について論述する。

(1) 環境

プロジェクトの規模その他の諸特性は3.1節及び本節第1項に述べたとおりであり、それらは内装プレハブ工事の前提条件である。つまり内装工は住宅内で仕上パックの開梱から作業に入り、パックのハンドリングには関係しない。ここまでの環境として設定されている。

(2) 制約条件

内装プレハブ工事の作業範囲が明確になればその範囲内での標準的な作業手順が作成できる。部材は部品化されており、工程は標準化しやすく、比較的簡単なものとなる。（図4.34）この手順が工程計画の基礎となる。当該工事の場合過去の類似工事の実績値を参考に8人／戸（＊13）とした。この点は計画工数設定の論理構成として後に詳しくとりあげる。8人／戸の値を根拠に内装プレハブ工事は2フロア6日間（＊12）のペースが決定され、全体施工計画との調整に入る。これらすべてが実際の工事段階では制約条件となる。計画値が設定される手順からみれば計画値は工程計画上の制御要因と考えられる。

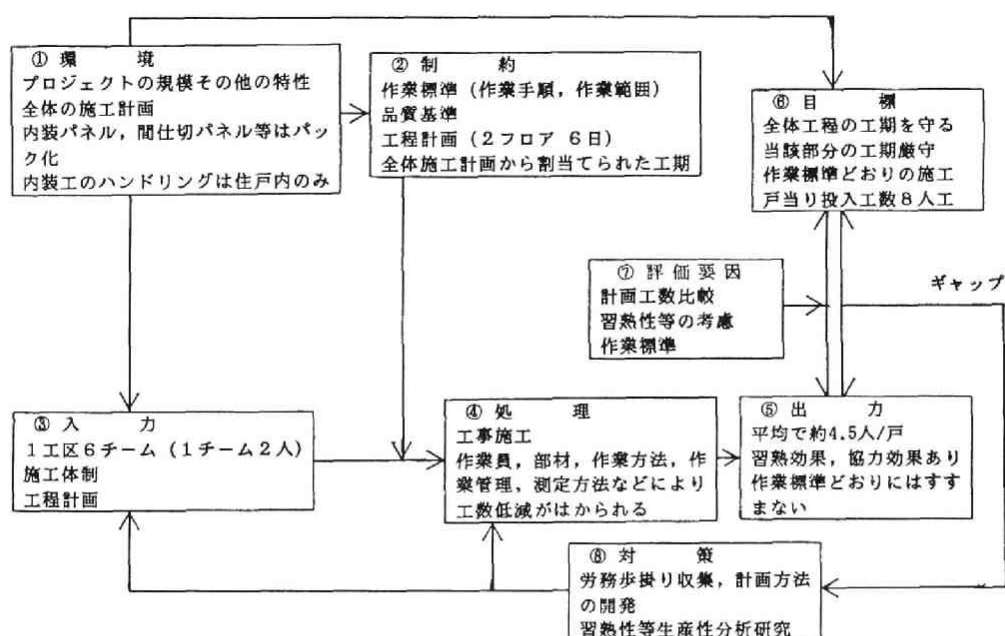


図4.33 問題の構造

が、現実の過程では不可制御要因とした可能性が強い。なぜならば計画値を多少とも変更して工程計画を検討した形跡がないからである。

(3) 入力

2フロア6日間のペースを確保するために投入すべき作業チームは各工区（原則として建築主別）6チーム（1チーム2人）である。一方部材・部品はパック化され、各住戸内まで輸送、揚重されている。製品、パック、施工の企業分業は既に図4.32に示したとおりである。同図によれば再下請関係、とくに同一現場、同一工事の編成も資源状況等に応じて単一ではないが、これらについては次節で議論する。ここではジョブレベル、つまりチーム編成について摘記する。

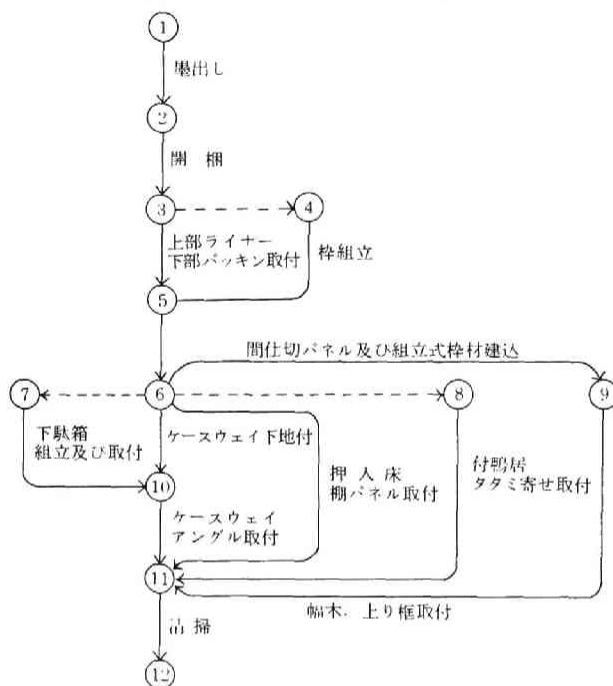


図4.34 作業手順(*111)

実際のチーム編成が明らかに

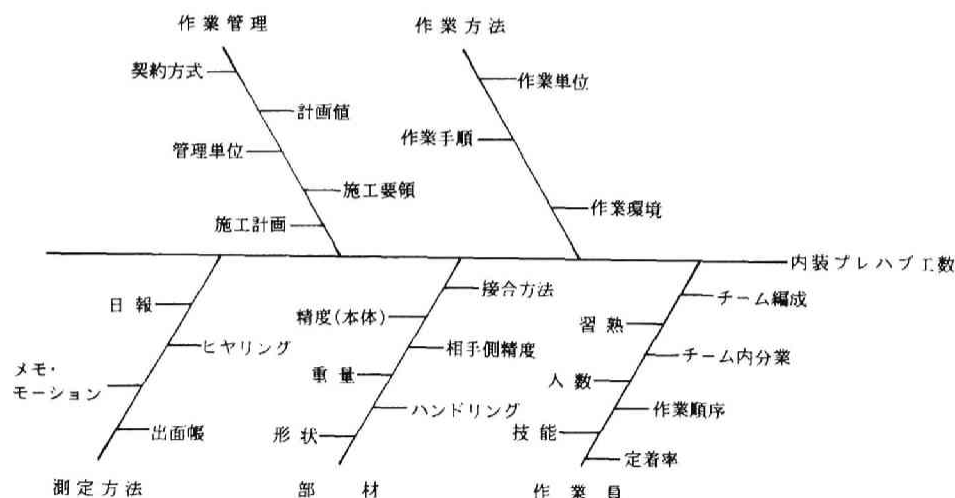


図4.35 内装プレハブ工数の特性要因図

なっているのは17チーム、26人である。ジョブチームは、3人チームが4組（うち兄弟+1が3組）、2人チームが1組（兄弟）、1人チームが12組である。このチーム編成から基本は1人で、2～3人の組の場合も兄弟を中心とした構成といえる。

（4）処理

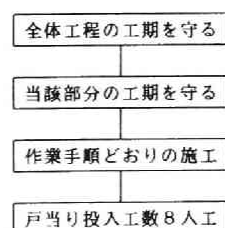
端的には工事そのものである。ここで問題としている工数計画問題に限ってもその内容は多岐にわたる。（図4.35）次項では工数低減の要因として習熟性、チーム内分業などをとりあげる。

（5）出力

比較的資料がよく収集された工区について実際の所要工数を上げると、県1.5人/戸～6.3人/戸、公社2.2人/戸～8.1人/戸であった。ちなみにヒヤリングによると県の平均が3.7、工期を前後半にわけると前半で3.8、後半で3.5、公社の平均は4.8、前半は5.4、後半は4.2人/戸である。ただしこれら工数情報はいわゆる出面によっており、その意味で確実性に限界がある。また各職人の1日当り労働時間には相当の幅がある。8時間半ないし10時間半（休憩時間含み）平均9.7時間で、その背景は出来高給である。次に習熟性は比較的早く（約1ヶ月以内）に現れ、初期工数に比べ約50%の低減がみられる。構成人員による能率の格差はなく、大工としての経験年数による能率の格差は存在する。さらに、実際の作業は作業手順どおりには進まず、各チームで最適と考える手順で実施される。またチーム内の分担関係も一様ではなく、もちろん職人の出自も異なる。これらすべてが習熟性、工数低減に関係する。

（6）目標

目標は図4.36に示すように階層性を有する。この問題の究極の目標は全体工程の工期を守ることであるが、細分化された目標は戸当り投入工数を8人工以下におさえることである。



（7）評価要因

計画工数と実際の所要工数が評価の対象である。

図4.36 目標の階層性

（8）対策

労務歩掛りの収集、活用は従来さほど重要視されていない。その最大の要因は元請、下請関係が材工共一式請負契約で成立しており、個別の労務歩掛りに関心を払う必要がなかったことによる。新材料、新工法等技術的改良、革新がさほどないプロジェクトでは経験と達観によって工数計画の目的は達せられた。ところが本プロジェクトのような新規性、

大規模長期性を有する場合には経験と達観が有効に機能しないことは明らかである。従って労務歩掛りの収集、計画の方法論が今後必要とされる。

4.3.3 処理過程

二つの過程を取りあげる。一つは計画工数をいかにして設定したか。二つは工数低減の実態とその要因である習熟性、チーム内分業の考察である。

(1) 計画工数設定過程

内装プレハブ工事の工事計画から実施の管理のフローを図4.37に示す。

予め部品化、パック化され住戸内に揚重されているところ以降が作業の開始である。その作業手順は先に示したとおり。この手順をもとに計画工数の設定に入る。当該工事の新規性、つまり作業の集約化、部品化、パック化は過去の類似物件に例がなく、且つ従来は大工による部材のハンドリングがあり、工数データはそれらの作業

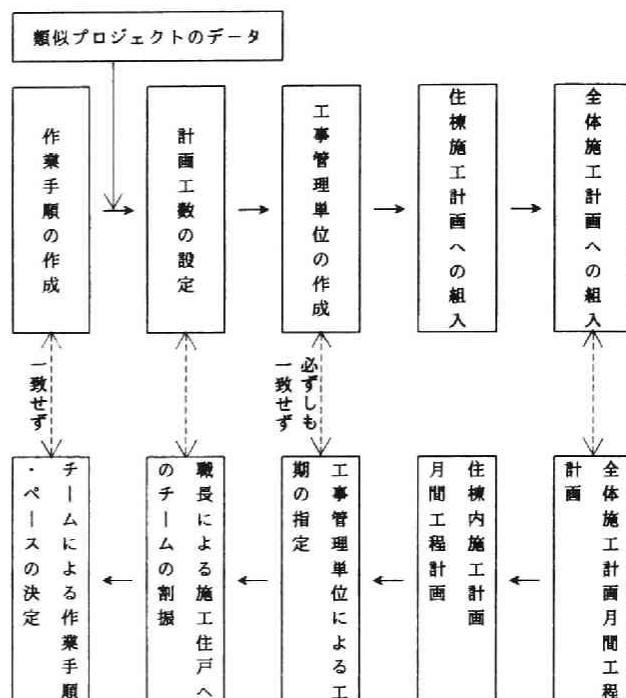


図4.37 内装プレハブ工事の計画と管理

を含むものであった。従って造作工事だけに限定した工数データは推定によって求めざるを得ず、類似物件を参考にしつつ結論としては7人工/戸(0.1人/㎡)に安全率を加味して、8人工/戸(*13)とした。さらに1チームを2人構成とし、1チームで1住戸を4日で完成させる工程として計画工数を設定した。この点で問題は二つ。一つは当該プロジェクトの場合1住戸面積は工区によって異なり、大は87.4㎡から、小は53.3㎡(*15)、従って必ずしも計画値8人工/戸だけが適正な値とはいえない。工期の厳守を目標としている場合、計画値は住戸面積の広いものに合致させる可能性が強い。残余の住戸はおのずと甘い計画値となる。二つは1チーム2人と設定しているが前述のとおりジョブチームは必ずしもそうはなっていない。基本は1人である。

次に工事管理単位として「2フロア6日間」(*12)を設定する。1住戸当りの計画値が決まればあとはチーム数の問題となる。

$$\begin{aligned} \text{投入チーム数} &= \frac{(\text{工事管理単位の戸数}) \times (1 \text{ 戸当り計画値})}{(1 \text{ チームの延人工数})} \\ &= \frac{4 \text{ 戸} \times 2 \text{ 階} \times 8 \text{ 人工}}{2 \text{ 人} \times 6 \text{ 日}} = 5.3 \approx 6 \text{ チーム} \end{aligned}$$

以上が計画工数設定の過程でこの値を基本に住棟、全体の施工計画に移る。

現実の工事実施過程では工事管理単位は「共用階まで、約10戸～20戸である」(*16)、それ以降の作業手順、チーム編成等はいわゆる自律的管理である。

(2) 工数低減の実態

工数情報は出面によっており、その意味で確実性に限界がある。また統計処理、習熟性曲線を算出するにはデータ数も不足している。従ってここではデータを生のままプロットしたものを示す。(図4.38, 図4.39) 同図より次のことがいえる。

- 習熟性は比較的早くに表われ、約1ヶ月、戸数にして10～20戸で安定する。
- その場合初期工数に較べ、約50%低下する。

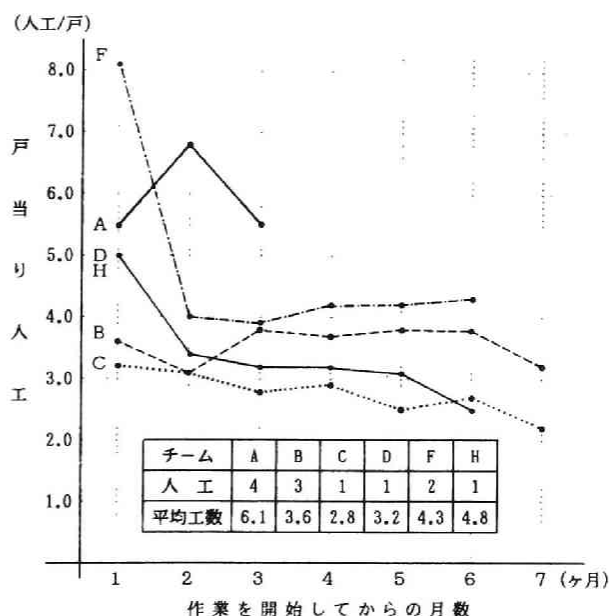


図4.38 職人の能率比較(公社)

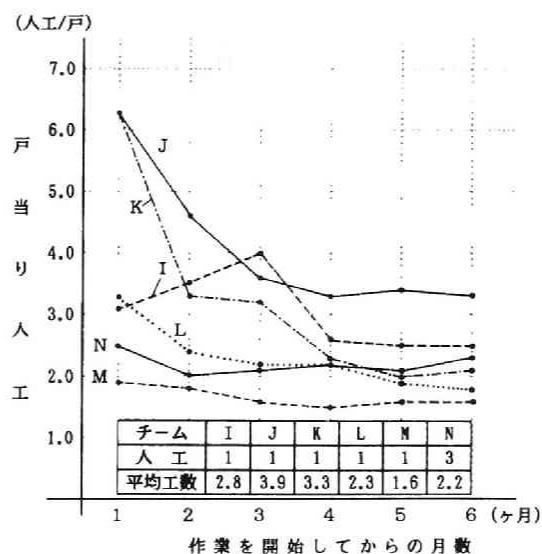


図4.39 職人の能率比較(県営)

c. 習熟性効果が顕著に出るチームとそうでないチームがある。要因の一つに大工経験年数の短い者にその効果が出やすいことがある。

d. 習熟性効果が出たあとの安定期では構成人員数によるチームの能率の差はない。

e. 大工経験年数によって個人の能率の差はある。

一方作業の進行に関しては2種類ある。

① 1戸ずつ順次完成、

② 1フロア4戸を部分ごとに完成して流し、4戸同時の完成。

この進行パターンの使いわけはチーム編成に関係なく、むしろ世話役の指導、職人個々の勝手である。後者の方に一見能率上の有利さを感じられなくもないが、各戸間の移動（道具の移動を含む）のわずらわしさがあり、工数上もこの両パターンには顕著な差を見出せない。またチーム内の分業体制によってもこの差は見出せない。

4. 3. 4 まとめ

内装プレハブ工事の工数計画問題をまとめる。

(1) 工数計画問題は基本的には施工計画プロセスで詳細に扱われる問題である。

(2) しかし計画工数は工事の発注、概略の工期工程計画に使用される。ツメの甘い計画工数は工事費の増加、工期の不適合につながる可能性がある。従って工数計画は基本設計プロセスでも一定程度検討しなければならない。

(3) 計画工数のツメの甘さはプロジェクトが新規性を有し、大規模長期なほど表れやすい。理由は利用できる情報が不足していること、習熟性、チーム間の能率の差が顕著に出る可能性が強いことによる。

(4) 元来、内装プレハブ工事の施工チームの編成、施工手順、方法は職人の自律的管理に委ねられており、元請側で計画をする必要がなかった。施工計画プロセスにおいても具体的、論理的な工数計画の方法論は存在しない。

従って基本設計プロセスの工数計画問題は当面予め一定程度の厳密さを有する計画値を設定し、プロジェクトの施工プロセスの初期に習熟性、能率差を把握し、計画変更もしくは最終的決定を行う設定型問題とし、二段階計画方式を開発する必要がある。

4. 4 内装プレハブ工事の施工体制決定問題

建築プロジェクトの工事管理業務は一般に現場管理者個々の経験に委ねられており、人

が異なればその工事管理には違った方法が採用されている。このような個人的な経験には、おのずとその限界がある。プロジェクトが大規模化、長期化、複雑化するに伴ない、また機械化、工業化、部品化などの技術変化や新材料の開発により新しい職種、施工組織が発生している状況下では、個人的経験には依存できなくなってきた。本節では工事管理の主要な部分を占める施工チーム編成に注目し、その専門工事分割の単位つまり専門工事業者への工事の割振り（工事部位、材料と工事の共別、仮設の扱い、責任範囲などの決定）の決定要因、決定様式について考察する。

4. 4. 1 対象プロジェクト及び問題の概要

（1）対象プロジェクトの概要

本節でとりあげる内装プレハブ工事は二つのプロジェクトからの実例である。一つは内装プレハブ工事の工数計画問題として前節でとりあげたものと同じプロジェクトであり、ここではその概要をくり返さない。（以下芦屋浜プロジェクトという）他の一つの概要を以下に摘記する。（以下向島プロジェクトという。）

①対象プロジェクトは京都市及び京都市住宅供給公社を供給主体とする住宅団地建設プロジェクトの一部。

②住宅団地建設プロジェクトは長期に亘り、発注される単位は140～280戸、棟数で1～2棟程度。当然ながら元請はその都度異なることが通常である。

③ここで調査したプロジェクトは11階建2棟、全体で264戸、躯体はHPR工法で施工された。

④内装プレハブ部品は

- a. パネルー間仕切り（ベニヤ、石綿板）、外周断熱板（ベニヤ、プラスターボード）、床、天井パネル（一部）、
- b. 加工材ー造作材、枠材、
- c. E材（ケースウェイ）

から構成され、工事の始点は床アンカーボルト打込後である。

（2）問題の概要

施工体制の決定の場で意識されているか否かは別として決定の手順は大きく二つに分かれる。一つは工事分割、二つは業者選定。ここでとりあげた対象はいずれもプレハブ化された内装工事で、これは設計段階で既に規定されている。

芦屋浜プロジェクトは発注者が複数で元請が単一であるケースである。図4.40に示すように、JVからの一次下請編成はまず工区によってちがう。又部品によってもこの分担関係がちがう。工事内容はほぼ同様であるが材料・労務の調達能力、利用の有利性の判断如何による

一方向島プロジェクトは同一団地内の市営住宅、発注者が同一で元請が異なるケースである

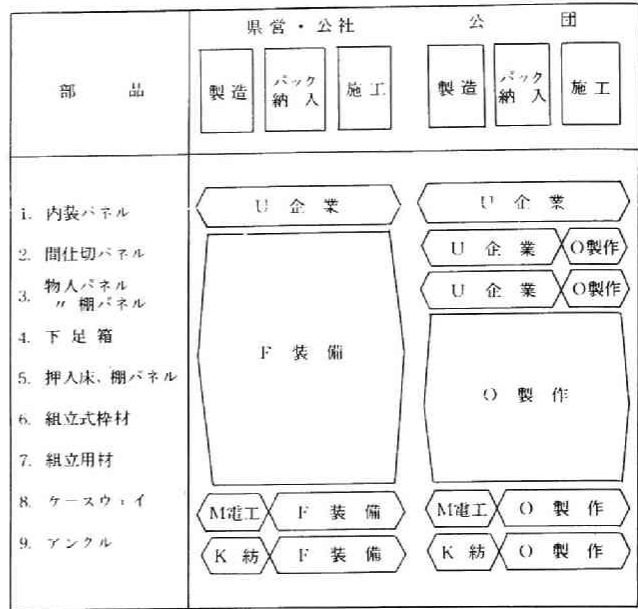


図4.40 部品の製造、パック、施工の分担

| 元 請 | 一 次 | 二 次 | 三 次 |
|-------------------------|---|--|-----------------------------------|
| 2号棟 TKJ.V. 142戸 | NJP (材: パネル・E材) H社 (材: 造作材・断熱P) 工 | H社 (パネル) F社 (E材) O社 (造作材) NJP (断熱材) 下請施工班 (断熱貼り含む) | |
| 4号棟 TMJ.V. 174戸 | G社 (材 工 共) | NJP (材: パネル・E材) N社 (材: 造作材) E社 (材: 断熱P) 下請施工班 (工: 組み立て) A社 (工: 断熱貼り) | K社 (パネル) F社 (E材) Hパネル (断熱P) |
| 5.6号棟 SMJ.V. 280戸 | RI社 (材 工 共) | 下請施工班 (工: 組み立て) A社 (工: 断熱貼り) | |
| 7.8号棟 TFJ.V. 264戸 | NJP (材 工 共) | H社 (材: パネル断熱P) O社 (材: 造作材) F社 (材: E材) W社 (工) | S社 (断熱貼り) |

図4.41 内装プレハブ工事の編成

うにその内装プレハブ工事の下請構成（下請業者、工事分割の単位、材工共別）が全て異なっている。契約図面上は内装部品に関してパネルのみが「N J P, E 社, D 社, R I 社又は同等品以上」という指定になっている。編成が異なるのは同じ部品、工事に関しても、元請業者、下請業者、供給業者の資源状況が異なるからであり、各々の元請業者が各自最適な編成を求めた結果である。又、同じ元請でも現場所長によって編成が異なり、N J P は地域によって材工共別の割合が異なる。

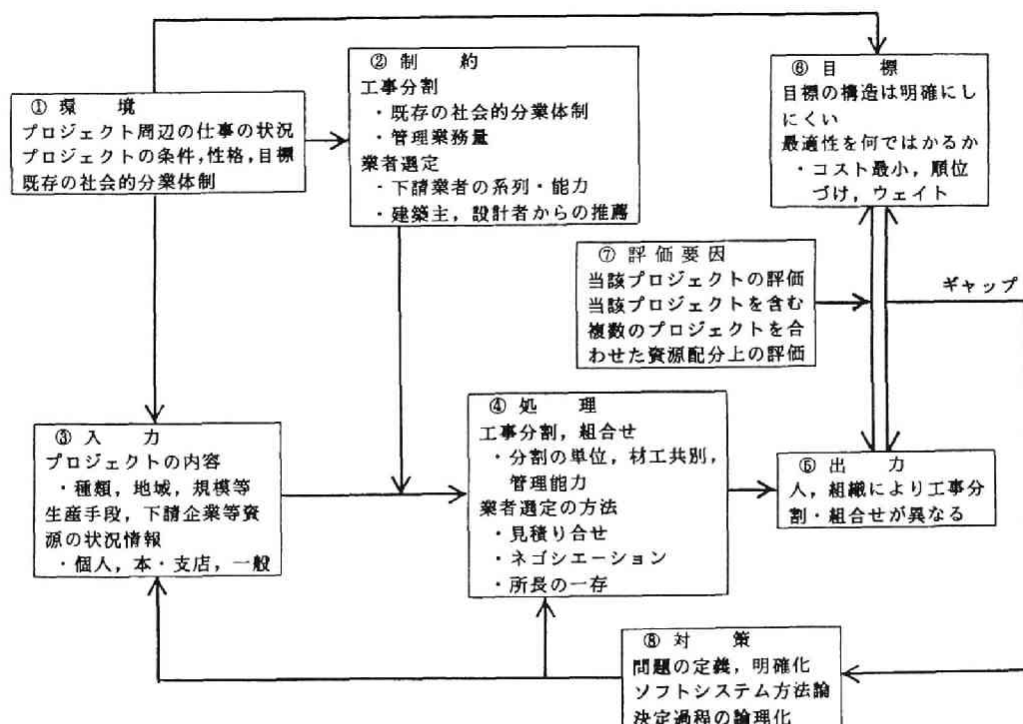
これらはいずれも下請編成での目的、制約条件などの違いから生ずる結果である。このような決定問題は必ずしも定量化、定式化が容易でなく、また目的自体明確にすることが困難な場合が多い。いわゆるソフトシステム方法論が必要とされる。

4. 4. 2 問題の構造

ここでは施工体制決定者の観点で問題の分析を行った。問題の構造を図4. 4 2 に示す。以下各要素について論述する。

(1) 環境

施工体制は工事管理の基盤である。従って当該プロジェクトの条件、性格、目標が必ず



れにあるかによって施工体制は違ったものになることが予想される。たとえば規模が大きい場合同種の作業量が増大することが多く、当該作業を分割する可能性がある。また新規性、開発的色彩の強い作業、あるいは協力業者の育成の意図がある作業ではおのずと従来の体制とは異なる。さらにプロジェクトが工期、コスト、品質、安全のいずれを第一の目標とするかによっても異なる。

当該プロジェクト周辺の工事の状況は環境の一つである。たとえば在来型の基礎工事の施工体制を計画したにせよ、周辺に工事が多く型枠工、鉄筋工が調達できないとすれば、違った施工体制たとえば基礎のPC化（従来の鉄筋、型枠、コンクリート工事が一体となるという意味で一体化という。）をしなければならない。これはまた工法の検討時期の問題である。つまり設計段階では選択の範囲が広く、逆に設計段階での決定は後の制約となる。詳細分業化、一体化いずれにせよ既存の社会的分業体制になじむものでなければならない。既存の社会的分業体制になじむとは一つには当該分業化、一体化を受け入れることのできる企業が存在すること、二つには技術的、時間的、空間的に前後の作業、位置関係に整合的であることを指す。

（２）制約条件

工事分割の制約条件は二つある。一つは前述のとおり既存の分業体制になじむことであり、二つは１人の管理者の業務遂行能力には限界があり、管理業務の手間がそれを超えないことである。現実にはこれらは経験的に処理され、さほど意識されることはない。

業者選定での制約は二つ。一つは下請業者の系列、工事能力と当該プロジェクト実施時の余力で予定の工期、工程をこなせること、二つは建築主、設計事務所からの推薦、要望である。

（３）入力

プロジェクトの種類、地域、規模等が施工体制決定の前提となることはいうまでもない。加えて資源の状態が把握されねばならない。資源には①下請企業、系列、②元請、下請の管理能力、③生産手段、技術、④発注量、⑤支払い原資などが含まれる。これらの把握のための情報は決定者の個人的経験、知識の範囲に限定される場合、同一企業の本、支店情報が利用可能な場合、一般情報が利用できる場合で異なる決定が行われる。

（４）処理

前述の環境、制約条件と入力の下で現実的な工事分割と業者選定が行われる。その過程については次項で詳述する。

(5) 出力

現実の出力は図4.40、4.41にあるように人により、企業によりその最適と考えるところが異なり、区々な結果を生ずる。芦屋浜プロジェクトでは内装プレハブ工事の工区を発注者によって二つに大別し、次に部品によって細分割している。それらを製造、パック納入、施工の三つのプロセスに分け、それぞれに担当業者を割りつけたものである。向島プロジェクト（7、8号棟）はまず材と工に工事を分割し、材については部品によってさらに細く分割し、それぞれに担当業者を割りつけている。

(6) 目標

施工体制決定問題の目標は図4.43に示すとおり多岐に亘る。これらはコスト最小化を除きいずれも定量化しにくいものであり、2.3節で定義した問題を形成しない。つまり目標と現状のギャップを見つけ出すことができない。実際上もこの種の問題は目標が明確にされることなく決定されていることが多い。

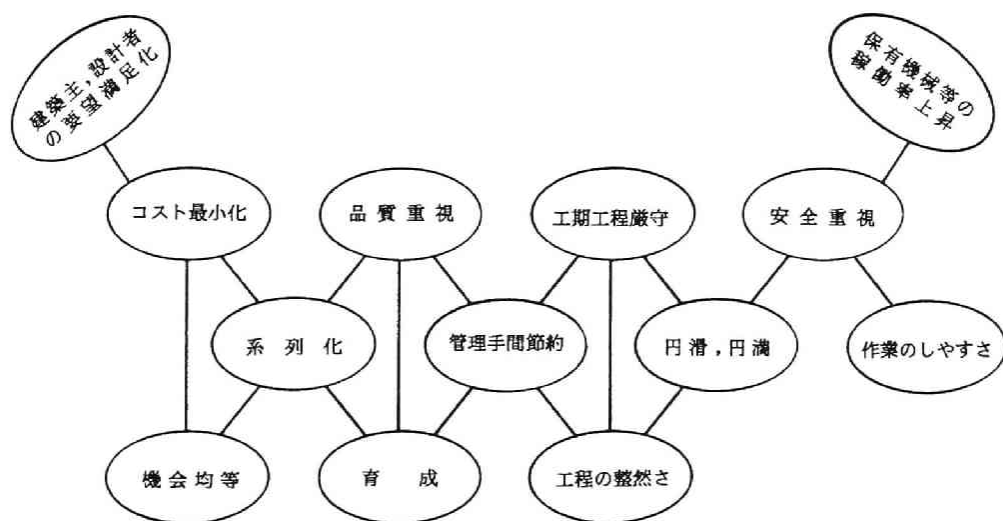


図4.43 目標の広がり

(7) 評価要因

評価には当該プロジェクトでの評価と複数のプロジェクトもしくは当該企業の本、支店全体としての評価の二つがある。前者の場合具体的な場ではコスト最小化を目標とすれば見積り合せ、ネゴシエーションによって評価、選択される。残余の目標は決定者の主観により、ある場合考慮され、他の場合無視される。ある場合とは特に印象に残っていたり、知識として情報を持ち合わせている場合である。

後者の評価は他のプロジェクトとの資源配分問題として考慮されるが、現実には当該プロジェクトで資源が使えるか否かにのみ関心があり、使える場合何ら問題とならず、使えない場合即座に大問題となる。プロジェクト相互の資源配分を論理的に決定し、実行されることはまずない。

(8) 対策

以上みたように施工体制決定問題は目標を明確にすることが困難で且つ決定過程は明快ではない。従って当面は施工体制の決定過程を明確にし、可能な限り論理的にすることが重要である。そのためにはソフトシステムズアプローチ（＊１８）が検討されてよい。以下次項で決定過程の要因と分析結果を示し、ソフトシステム方法論の適用の可能性について示す。

4.4.3 処理過程

内装プレハブ工事の施工体制を中心に論述するが、一つのプロジェクトの工事分割の程度、バラエティ、主要工事のウェイトを示すため、芦屋浜プロジェクトの全体についてまず述べる。同プロジェクトは規模の点で通常と異なるが施工体制決定問題の本質において異なるものではない。

表4.15 一次、二次下請業者数

| | | 業 者 数 | |
|-----------|---------------|-------|------|
| | | 一次下請 | 二次下請 |
| 基礎 躯体 | 1. 地盤調査等 | 4 | 0 |
| | 2. 土工事、地業、基礎 | 8 | 21 |
| | 3. 鉄筋コンクリート工事 | 13 | 17 |
| | 4. 建方工事 | 23 | 34 |
| | 小 計 | 48 | 72 |
| 仕 上 | 5. タイル工事等 | 6 | 10 |
| | 6. 防水工事 | 9 | 12 |
| | 7. 左官工事 | 5 | 4 |
| | 8. 建具工事 | 13 | 16 |
| | 9. 塗装工事 | 3 | 8 |
| | 10. 内装工事 | 6 | 11 |
| | 小 計 | 42 | 61 |
| 11. 設備工事 | | 5 | 7 |
| 12. その他工事 | | 4 | 7 |
| 合 計 | | 99 | 147 |

(1) 芦屋浜プロジェクトの住

棟工事建設の施工体制

工事分割を業者数でみると表4.15のとおり全体で一次下請業者99,二次下請業者147である（次頁注1, ＊１９）。但し二次下請業者の選定、採用は原則として元請のコントロー

| 工事分割 | 材料 | 基礎 躯体 | 仕上 | 設備 | 土木 等 | 合 計 | |
|-----------|----|----------|----|----|---------|-----|----|
| 県 公 社 公 団 | | | | | | | |
| ○ ○ ○ | 5 | 14 | 32 | 6 | 1 | 58 | 58 |
| ○ ○ | 0 | 1 | 6 | 2 | 0 | 9 | |
| ○ ○ | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 | |
| ○ ○ | 0 | 4 | 1 | 0 | 0 | 5 | 18 |
| ○ | 0 | 1 | 4 | 0 | 0 | 5 | |
| ○ | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 | 5 | |
| ○ | 0 | 5 | 9 | 2 | 0 | 16 | 26 |
| 合 計 | 5 | 32 | 54 | 10 | 1 | 102 | |

図4.44 工事分割と一次下請業者数

ル下でない。資料（＊２０）によれば住棟建設工事の一次下請業者数は１２４、このうち工事区分（施工範囲が明らかなもの）が明らかなもの１０２業者について整理すると図４．４４のようになる。さらに契約額によるパレート図を図４．４５に示す。これらより次のことがいえる。

①一つの職別工事を１社するのは１０２業者中５８業者、２社以上に分割が４４業者で半数に満たない。しかし基礎、躯体等労務提供を主とする業種の多い部分では２社以上に分割される割合が高い。いわゆる現場三職に限っていえば、薦・土工は工区毎に異なり、鉄筋工は二業者が県、公社分を担当し、公団部分は当該二業者で分割している。大工は一業者ですべての工区をカバーし、公社、公団の一部を他の一つの業者が担当している。

②工区毎に業者を替えることは少ない。

③下請契約の総契約高の８０％を上位１４社で占め、残余の２０％弱を１１０社で分けている。

④材工共の下請負が圧倒的に多く、材料供給のみは１０２業者中５業者である。砂、鉦

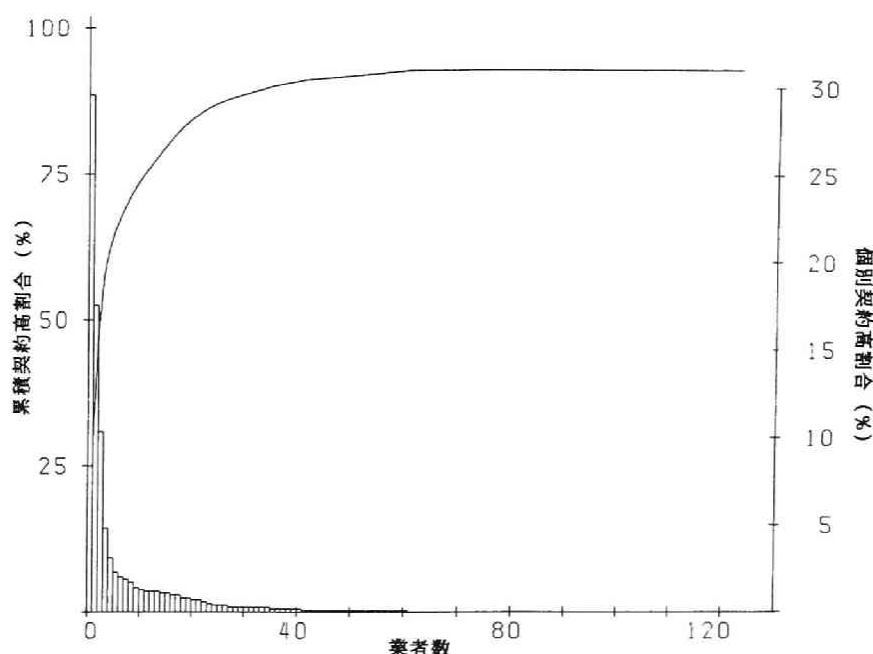


図４．４５ 住棟建設工事契約高パレート図

（注１）この数字は工事事務所での担当者へのヒヤリングによるため及び工事のくり方
の相異から後の数字（１２４）とくい違う。しかし元請資料では一次下請業者数のみおさ
えることができるため、あえて掲上し、概数においてこの程度であることを断っておく。

洋、セメント、鉄筋、生コン
が該当する。

(2) 芦屋浜プロジェクトの 内装プレハブ工事

製造、パック、施工の分担
は前に述べた。ここでは間仕
切パネルおよび枠工程のみの
再下請の実態にふれる。実態
は図4.46である。まず一
次請負は工区によってF装備
とO製作の二つに分割するが、

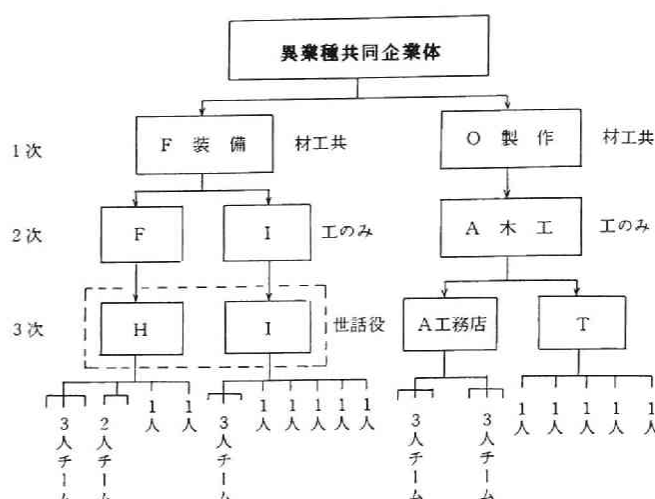


図4.46 下請関係（芦屋浜プロジェクト、*11）

両者共材工共の下請である。うちO製作は一部のパネルの製造をU企業に出す。二次は工の再下請で、O製作はA木工に、F装備はF・Iの両人にこれを渡す。その下はいわゆる世話役である。このようにして再下請関係はバラエティに富む。すなわち同一現場、同一工事の編成もそれぞれ固有の資源状況に応じて単一ではないのである。

なお元請資料によれば業者選定に当たって特に考慮した点は次のとおり。

- ①大数量、一括集中購買のスケールメリットを生かす。
- ②従来の流通経路の短縮省略を図り、価格の低減を目指す。
- ③出来得る限り全工期を通じて、不変の単価契約を行う。
- ④企画、提案段階における各分野での協力企業の実績を十分に尊重し、実施段階及び価格面の協力が得られるならば優先的に取扱う。
- ⑤構成員及び各発注者（事業主体）の推薦する業者については下記基準により取扱う。
 - ・共同企業体に対する構成員の窓口を整理し、一体化することを指導する。
 - ・共同企業体の期待する規格、品質、性能、納期、価格、支払条件等について十分対応し得るものであることを原則とする。
- ⑥設備工事（含機器類）の発注については竣工後の維持管理、運営に当る管理会社への移行を考え、出来るだけ単純な体制で施工し「メンテナンス」が容易な形態を求めることに留意する。
- ⑦材料調達たとえば生コンクリートなどでは地理的条件、特約店との関係を配慮する。

(3) 向島プロジェクト

図4.41の7.8
号棟プロジェクトの下
請関係の実態にふれる。

(図4.47) 一次請
負はN J P が材工共で
受ける。N J P は一部
のパネル、部材の製造
をH社、O社、F社に
出す。工事下請はW社
であるが、更に断熱板
貼りは専門のS社がそ
の下請で、その他の部
分は、N、M(7号)、

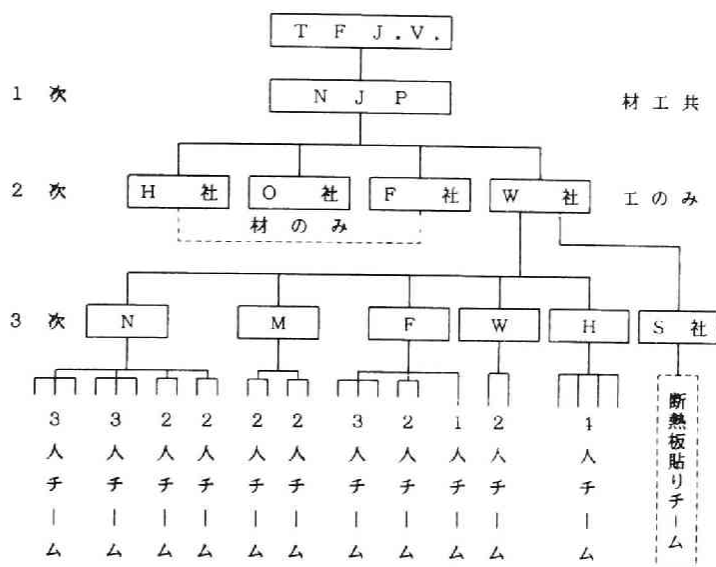


図4.47 下請関係 (向島プロジェクト)

F, W, H(8号)が下請である。この各々が図4.47にみられるような職人チームを率いている。このうちFは工事に直接は携わず、常用でW社の社員1名と共に段取り、調整等を行っている。

(4) 一般的な業者選定手順

施工体制の決定手順には工事分割と業者選定の二つがあることは前に述べた。しかし芦屋プロジェクトのような大規模なもの、向島プロジェクトのような通常の規模のもの、いずれの工事分割にも合理的な方法は開発されていない。合理的な方法とは図4.50に示す最適施工体制の要因を論理的に検討し、評価基準が明確で主観が入らない方法である。現状では工種別分割を中心とした既存の社会的分業体制の中で当該工事が実施できる下請業者の選定を行っているにすぎない。この社会的分業体制は元請企業の系列、地域によって異なる。たとえば型枠工事での材料は元請、下請いずれの負担か。コンクリート圧送は、生コン供給者、土工事業者もしくは圧送専門業者のいずれがやるか、などである。従って一般的な業者選定の手順が存在するのではなく、各元請企業内の社会的分業体制になじんだ選定の手順が存在するにすぎない。

いまF社の手順を図4.48に示す。業者選定の基本的条件は7つあり、①発注者、監理者からの推薦、②商品市況の発注時期(納期勘案)、③営業政策上の観点、④地域特性、⑤協力業者の育成、⑥仕上程度の難易度、⑦協力業者の特質と考課である。

- 120 -

能で望ましい改革案を決定し、ステージ7で問題状況の改善のために決定に基づいた行動をとる。この行動は新たな問題を生む可能性があり、その場合ステージ1からの繰り返しとなる。

このソフトシステム方法論と一般のハードシステム方法論(注1)を比較し、まとめてP.Checklandは表4.16

を示している。(※23)

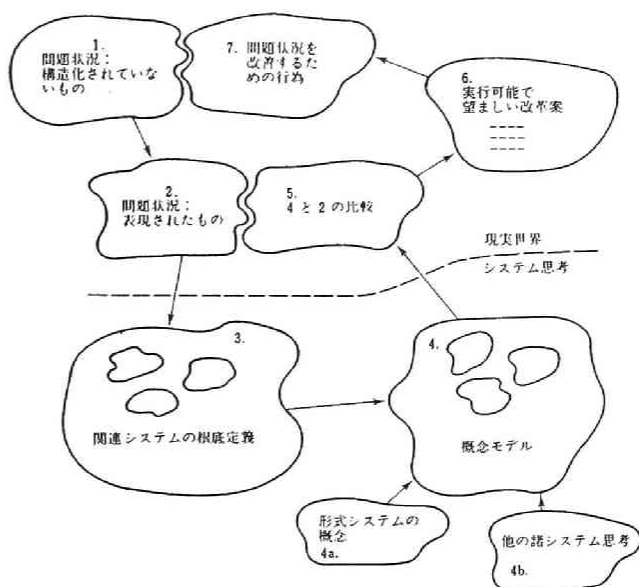


図4.49 ソフトシステム方法論の概念(※18)

表4.16 ソフトシステム方法論とハードシステム方法論の比較(※23)

| ソフトシステム方法論 | Jenkins (注1) | R A N D 社 |
|--|--|--|
| (a) 出発点：明確に定義されていない問題状況が存在すると感じられる社会システムに対する、改善のための衝動。 | 出発点：依頼主が問題をもち込んだ時点で分析者がかなりの部分を“所与”と考え得るような、相対的に明確に定義された問題を解くという衝動。 | |
| (b) 表現：“構造”と“過程”の構成要素とそれらの間の関係を調べて表現する。問題状況の改善に関連するシステムを試験的に定義する。 | 分析：システムを命名し、そのシステムの目的、……システム間階層における位置により分析する。 | 分析：意思決定者の目的を調べることによって、分析する。目的は所定のことを実行するシステムに対するニーズとして表現されている。 |
| (c) 定式化とモデル構築：関連システムの根底定義を定式化する。次にそれらシステムの概念モデルを構築する。 | 設計：定量的モデルの構築やシミュレーションによりシステムを設計する。 | 同定と比較：定められたニーズを満たすような代替システムを同定し、モデル構築し、それらを成果尺度によって比較する。 |
| (d) 改良：形式システムモデルと既存のシステム思考によって概念モデルを改良する。 | 最適化：定まった(経済的)成果尺度を使って、その設計を最適化する。 | 選択：ニーズに最もよく合致し、かつ実行可能な代替案を選び出す。 |
| (e) 比較：現実の状況での“実態”と概念モデルを比較する。次にその比較結果を用いて現実世界における望ましくかつ実行可能な改革案を定義する。 | 対応する比較ステージは存在しない：両アプローチでは、その当初からどんな改革が必要かは明らかである。 | |
| (f) 実施：同意の得られた改革案を実行する。 | 実現：設計したシステムを実現する。 | |

(注1) G.M.Jenkinsは『Journal of Systems Engineering, II(1)』の中でシステムアプローチと題する論文を発表した。問題の認識の定式化、システムプロジェクトの組織化、システムの定義を中心に目標指向の方法論を展開しており、P.Checklandの研究の出発点となった。

(注1) 2.1節定義参照。簡単にはハードシステム方法論はシステム工学と考えてよい。

さてソフトシステム方法論の施工体制決定問題への適用可能性と現実性について若干の考察をする。

①建築施工の機械化、ロボット化あるいは部品化は少なからず施工体制に影響を及ぼしている。たとえばALC板は在来の施工体制の中で左官、ブロック、タイルなどの工事と代替的な工法で、その離陸期には各在来専門工の寄り合いチームで施工していたが、各種の必要以上に高い技能工を少しずつ使うことが不経済でもあり、次第にALC工事に関して何でもこなせるいわゆる多能工が成立した。（＊25，26）しかし工事規模にかかわらず、寄り合いチームがいいのか、それとも多能工か、材工共か別か。これらの合理的な決定方法はない。また建築施工の機械化、ロボット化、部品化の中で在来型施工との整合的な施工体制が組織されねばならず、その決定の論理的手順が必要である。

②個別企業の社会的分業体制はそれぞれ最適と信ずる方法が定着したものであり、各企業で違った体制である。他企業との違いを意識することはまずまれであった。しかし技術変化、品質の安定の要請等から好むと好まざるとにかかわらず競争者の下請育成、施工体制、管理体制に目をむけざるを得なくなった。

これら①、②はP.Checklandのいう問題の知覚であり、それを表現することはさほど困難なものではない。

③人間活動システムつまりここでは施工体制決定システムを特定の観点（たとえば工程計画どおりに施工できる体制、信頼性の高い体制）でとらえた表現はいくつも用意でき、それを機能論的に展開することは可能である。ここで機能論的とは現実の世界ですでに認知されている活動、行為を用いるのではなく、必要とされる機能、観念上のシステムを論理によって構成することをいう。

④このようにしてシステムが行なわなければならない活動が明確にされると、図4.49のステージ5の現実と当該システムの概念モデルが比較可能となる。

⑤ハードシステム方法論はソフトシステム方法論の特殊ケースであるとみなせる。問題が十分明確に定義され、目的が定式化されるならばソフトシステム方法論における概念化はシステム設計になり、定量的モデルを最適化する問題になる。従って概念モデルの一部にはハードシステム方法論が内包されていることが予想される。つまり概念モデルはソフトシステム方法論とその特殊ケースとしてのハードシステム方法論が協力して構築される。

このように施工体制決定問題はソフトシステム方法論の適用が可能と目される。ただし施工体制決定問題は多価値・多目的であり、ソフト、ハード両システム方法論が協力して

問題解決に当る点で、多目的システム、分析と総合など方法論上の吟味を必要とする。これらの点に関しては本論文第7章の最適化の方法論上の問題の中で一般化して論述する。

4.4.4 まとめ

集合住宅プロジェクトの施工体制決定問題を内装プレハブ工事を中心にみた。まとめると次のとおり。

(1) 施工体制決定に影響する要因は複雑多岐にわたるが、本研究によって明らかになった点は下記のとおり。

①工事条件、工事の性格 — 建物種別、規模、地域、あるいはプロジェクトの新規性、開発的要素、工期優先かコスト優先かなど。②分割の種類 — 材工共、別。機械化施工、人力施工等工法上。工種、職種上。③分割の時期 — 設計段階か施工計画段階か。早期に検討する程その選択範囲は広い。④利用可能な情報の程度 — 個人的情報、一企業内情報、一般に公表されている情報。情報の質（信頼性）、詳細の程度、量。⑤現場管理業務、能力、手間 — たとえば工程管理上作業順序の都合により編成をかえるなど。⑥保有資源の状態 — 下請の管理能力、生産手段、発注量、施工余力。⑦既存の分業単位 — 基本的には精細分業をしてもそれを担当する業者が存在すること。名義人、協力会、アウトサイダー。材工、機械、技術、部品の単位。⑧工期工程上 — 工期の圧縮あるいは揚重負荷の軽減のため、現場外加工、パック化等を高めること。⑨業者選定 — 設計図書上の指定。施主、設計者の要望、施工能力、余裕。過去の実績。⑩最適性の尺度 — 個別プロジェクトの最適性。複数プロジェクト、一企業内最適性。省資源、省エネルギー等社会的最適性。

(図4.50)

(2) 施工計画プロセスで現実には工事編成が検討される場合、これらの要因について意思決定者自らが経験的に妥当と考える点だけを検討しているにすぎず、残余は無視されている。いずれにせよ上記の要因は相互依存的であり、また不確実な状況のことが多い。

(3) 基本設計プロセスで施工体制は考慮されていない可能性が強い。しかし部材、部品を設計することは後のプロセスでの工事分割の裁量の範囲を制約することになり、揚重計画では揚重負荷が確定することと同じである。また仕様を決定すれば、施工業者の選択範囲が規定され、極端な場合施工業者が決定される。たとえば特許を有する仕様を採用した場合がこれに該当する。このように部材、部品の設計、仕様の決定は施工体制の決定に密接につながっている。

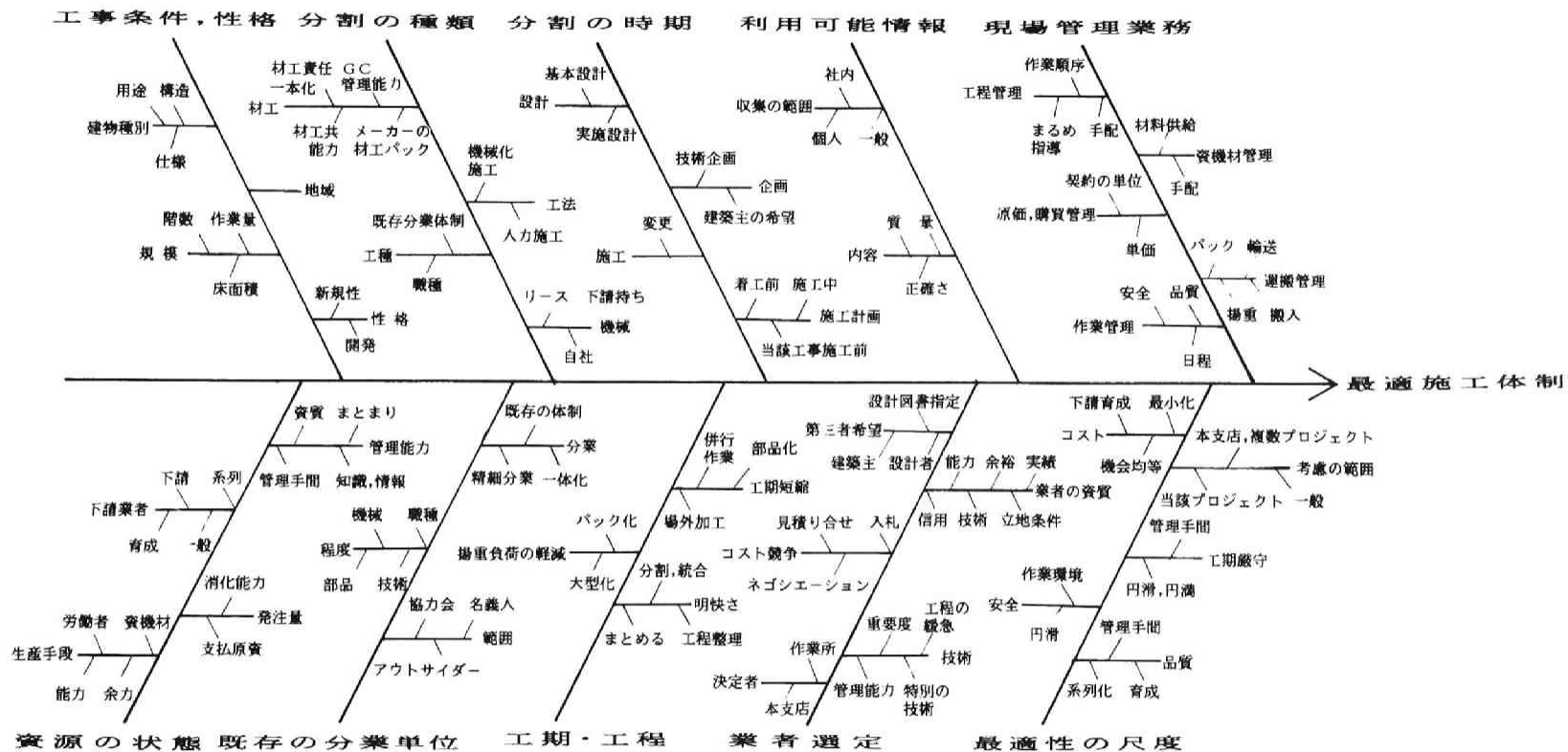


図4.50 最適施工体制の特性要因図

(4) 施工体制の評価はコスト、安全、工期、品質など多目的で、また仕事の円滑な進捗等目標が明確にできないものがある。この分野にはソフトシステム方法論が適用可能と目されるが、施工体制決定過程の詳細な記述と決定要因の相互関係の把握がまず必要である。

4.5 複数発注者の関与するプロジェクトでの設計変更処理問題

施工段階で設計変更の形で設計が問題となるのは、物的設計、施工計画、価格が整合的でなく、また設計段階で施工段階の情報が利用されておらず、問題に直面した場合である。このような観点から設計変更処理問題の実態を考察する。

設計変更について益田重華は建築学便覧(*30)で次のように述べている。「設計変更については、公共工事標準約款第18条、四会連合協定約款第24条に規定するように、基本的に発注者の権限であって、請負代金額の変更を伴うのが通常である。そのほか請負代金額または工期の変更など契約の基本に係わる事項については、監督員も監理技師もまた設計者も特約ある場合を除き発注者から委任された事項の範囲外である。」

四会連合協定約款第24条(*31)には工事の変更、工期の変更として

「(1) 甲は必要によって、工事を追加しまたは変更することができる。

(2) 甲は必要によって、乙に工期の変更を求めることができる。

(3) 第2項により、乙に損害を及ぼしたときは、乙は、甲に対してその補償を求めることができる。

(4) 乙は、工事の追加・変更、第28条(1)による工事の中止、不可抗力その他正当な理由があるときは、甲に対してその理由を明示して工期の延長を求めることができる。延長日数は、甲、乙、丙が協議して定める。」

とある。このように設計変更は発注者イニシアティブの強いものであるが、その協議過程が明らかになることは稀である。ここでは複数発注者であるが故に一方で複雑、他方により論理性が要求されるプロジェクトの設計変更処理問題を扱う。

4.5.1 対象プロジェクト及び問題の概要

(1) 対象プロジェクトは4.1節と同じである。公共住棟に限っていえば県、住宅供給公社、住宅・都市整備公団という制度、成立基盤の異なる複数発注者、全体で2782戸、契約額310億円、追加・変更389百万円、原工期35ヶ月のプロジェクトである。

(2) 問題の概要

設計変更の処理に関する協議機関、手続きは工事着工後かなりの期間を要してルール化された。にもかかわらず工事の進行に伴ない相当数の変更が発生し、契約更改には何段階もの協議、決定を要し、日時がかかることから、運用上は更改を待たず、発注者、受注者の実務担当者の協議後変更工事を実施した。それでもなお各主体の成立基盤や意思決定様式の違いが反映して、二つの意味で、スケジュールどおりに決定されたとはいえない。一つは変更項目の承認が工事施工後であること、二つは契約代金の変更がプロジェクト全体の完了時に一括して実施されたことである。

また設計変更の内容は受注者事由が大半で、そのうち〈施工上〉、〈検討不足〉を理由とする内容が多い。

4.5.2 問題の構造

ここではプロジェクトマネジャーの観点で問題の分析を行った。問題の構造を図4.5.1に示す。以下各要素について論述する。

(1) 環境

当該プロジェクトの規模、複数発注者その他の特徴が環境となるのはいうまでもない。

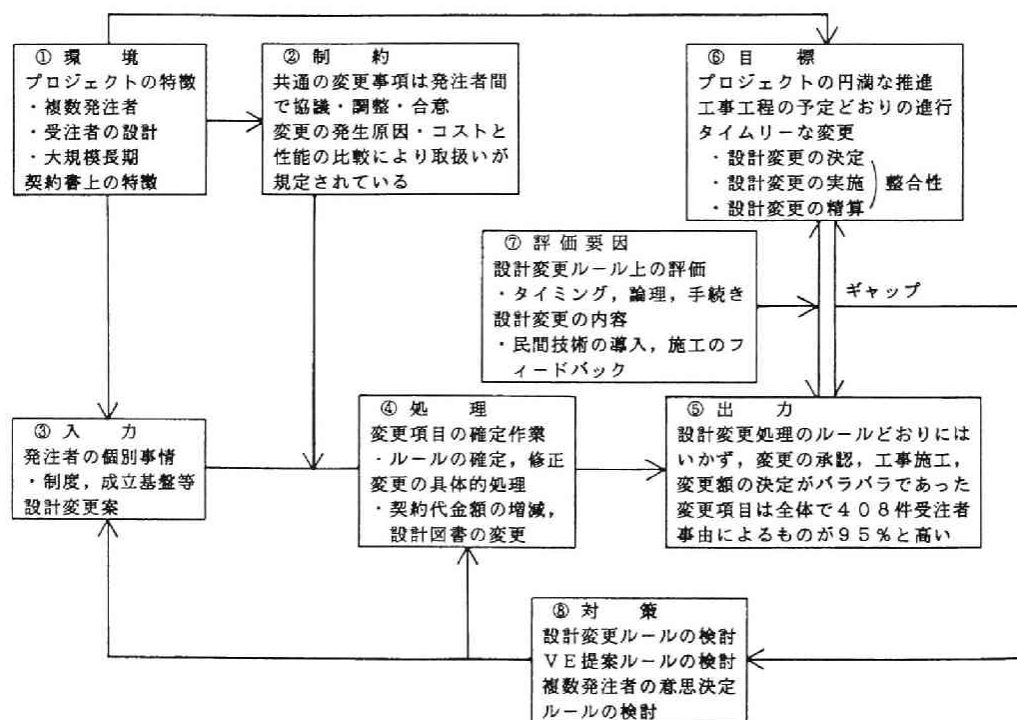


図4.5.1 問題の構造

ここでは契約書上の特徴をやや詳しくみる。当該プロジェクトの契約方式は受注者作成の実施設計図書に基づき、その工事監理も受注者自主監理という公共工事では新しいタイプである。工事並びに保安管理契約書上の設計変更に関わる規定と住宅・都市整備公団の通常の発注契約書とを比較するとその特徴は次のとおり。

第一、契約図面が通常の発注者図面と異なり、受注者作成図面であること。

第二、当該プロジェクトの大規模性、新規性、長期性から設計図書に明示されている施工条件の特別の状態の場合にも変更等の対象とされていること。

第三、変更等の処理について特殊基礎工事に関するもの又は関係法規の改正、行政指導、電気・ガス事業者との調整等に起因して発生したものの処理が特記されている。前者は、工事場所が埋立地であること、後者は、長期にわたるプロジェクトであり、関連法規等の改正が予想されることによる。

第四、受注者の提案に係る設計、施工方法に起因するものは、その変更により建設費の増額を要しないで性能が向上するもの、性能が低下しないで建設費が減額するものに限り、発注者・受注者協議の上で変更が可能である。これは工事施工側からの改善提案を認めていると受けとれるが、性能向上、建築費の減額による利益の帰属が明確でなく、受注者の積極的な変更提案を促すものとはなっていない。

第五、発注者からの工事の変更、中止については、基本的には通常の場合と変りがない。

(2) 制約

制約は大別して二つある。一つは発注者が複数であるため、共通の変更事項について協議、調整、合意が必要であること、二つは契約約款に定められているように、変更の発生原因、コストや性能の比較によって、その取扱いに異なる規定が必要で、変更項目の分類を明確にする必要があること。従って現実の処理過程では設計変更のルールが確立された。

(3) 入力

図面調整、細部検討、行政等の指導、仕様の変更、発注者等の設計条件の変更、理由はともかくとして多くの設計変更案が入力となる。また発注者固有の制度、成立基盤、事情も設計変更処理の重要な入力である。

(4) 処理

設計変更の処理は二つの段階にわけることができる。第1段階は、変更項目の確定の作業である。提起された変更を契約上どう扱うかを発注者と受注者の間で、あるいは発注者間で協議決定するものである。第2段階は、第1段階の手続きで分類、確定したものを個

々の発注者と受注者との間で具体的な処理を行う作業である。これは、当然契約代金額の増減や、費用負担、あるいは設計図書の変更、差替え等の措置を行うこととなる。ここでは第1段階の手続きを中心に記述する。

当該プロジェクトは複数の発注者であるため、変更項目の処理についての協議機関、手続きについて一定のルールが確定されている。手順フローは図4.52のとおり。同図によれば、変更内容を軽微で価格変化を伴わないもの（A，Bランク）と価格変更を伴うもの（C，D，Eランク）に大別し、協議のレベルを区分している。A～Eランクと性能、価格の判定との関係は次のとおり。

- A：図面調整（くい違い整理） → 性能、価格に関連しないもの
- B：細部検討（納り、意匠） → 性能、価格に変更を生じないもの
- C：行政等の指導（法改正、公益事業の指導） → 性能については判定外、価格については変更が伴うもの
- D：仕様の変更（意匠上、施工上の変更提案） → 性能、価格について判定を要するもの
- E：発注者等による設計条件の変更 → 価格について別途調整を要するもの

ルール上は受注者側（設計室）から提起された変更事項は現場連絡会、工事部会で分類され、軽微な変更とされているA，B項目については工事部会で協議、確認する。

一方、性能やコスト上の判断を必要とするC，D，E項目については、計画部会で協議、

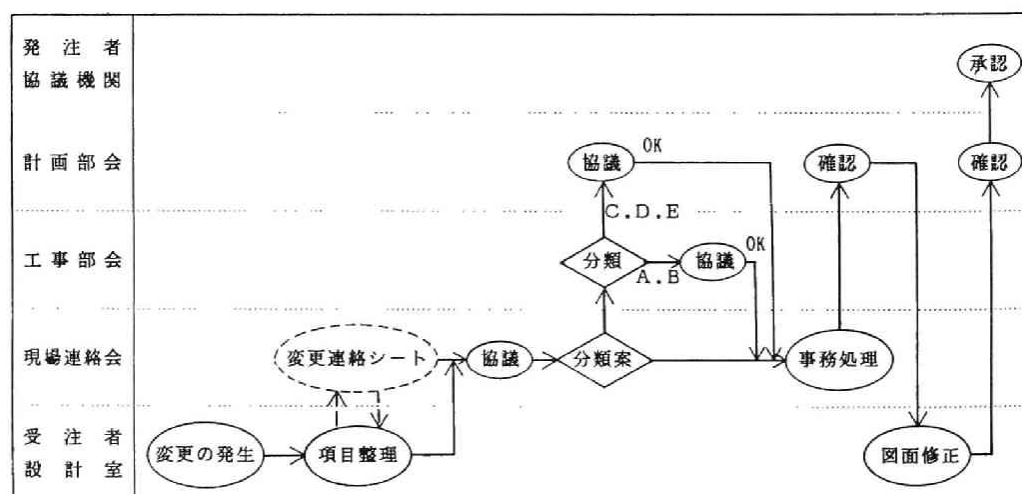


図4.52 設計変更処理フロー

確認され、現場連絡会での事務処理を経て、図面修正、発注者協議機関で承認後、変更契約、変更工事となる。設計変更の内容、理由、問題点等は次項で詳述する。

(5) 出力

設計変更のルールは確立したが、工事の進行に伴ない相当数の変更が発生し、契約更改には日時を要するため、中間検査部分払いの対処方法として、運用上は変更図書を契約図書とみなして中間検査を行うという臨時的措置がとられた。また契約更改は発注者協議機関承認の都度行うとされたが、結果的には一括して行うことになった。つまり設計変更の承認、工事施工、契約更改が独立的に進行した。

当該プロジェクトの設計変更の内容の概要についてふれる。公共住棟に限って設計変更リストより各ランク別の件数をまとめると表4.17のとおりである。同表によれば、設計変更件数は全体で408件である。また契約額の比にして1.3%程度である。A、Bランクの性能、価格に関係のないもの、変更を生じないものの割合が建築工事で56%、設備工事で82%と大きい。さらにDランクまで含めた受注者事由による変更は建築で94%、設備で99%、全体で95%ときわめて高い。

(6) 目標

プロジェクトマネジメントにとって円滑な推進が目標であることはいうまでもない。設

表4.17 設計変更項目のランク別内訳(件数)

| 分 類 | | 第 1 回 | | 第 2 回 | | 第 3 回 | | 計 | |
|-----|---|-------|--------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| 建 築 | A | 14 件 | 11.1 % | 3 件 | 9.7 % | 5 件 | 5.4 % | 22 件 | 8.8 % |
| | B | 50 | 39.7 | 21 | 67.7 | 46 | 49.5 | 117 | 46.8 |
| | C | 5 | 4.0 | 2 | 6.5 | 7 | 7.5 | 14 | 5.6 |
| | D | 54 | 42.9 | 5 | 16.1 | 35 | 37.6 | 94 | 37.6 |
| | E | 3 | 2.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1.2 |
| | 計 | 126 | 100 | 31 | 100 | 93 | 100 | 250 | 100 |
| 設 備 | A | 5 | 9.4 | 0 | 0 | 46 | 55.4 | 51 | 32.3 |
| | B | 25 | 47.2 | 19 | 86.4 | 34 | 41.0 | 78 | 49.3 |
| | C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | D | 21 | 39.6 | 3 | 13.6 | 3 | 3.6 | 27 | 17.1 |
| | E | 2 | 3.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1.3 |
| | 計 | 53 | 100 | 22 | 100 | 83 | 100 | 158 | 100 |
| 全 体 | A | 19 | 10.6 | 3 | 5.7 | 51 | 29.0 | 73 | 17.9 |
| | B | 75 | 41.9 | 40 | 75.4 | 80 | 45.4 | 195 | 47.8 |
| | C | 5 | 2.8 | 2 | 3.8 | 7 | 4.0 | 14 | 3.4 |
| | D | 75 | 41.9 | 8 | 15.1 | 38 | 21.6 | 121 | 29.7 |
| | E | 5 | 2.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 1.2 |
| | 計 | 179 | 100 | 53 | 100 | 176 | 100 | 408 | 100 |

計変更問題に限っていえば工事工程が予定どおりに実施できるように設計変更を処理することが目標である。そのためには設計変更の検討、承認、工事施工がタイムリーに実施され、その契約更改が迅速に行われることが必要である。(図4.53)

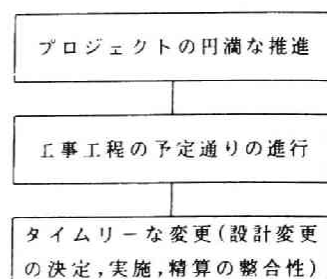


図4.53 目標の階層性

(7) 評価要因

評価要因は大別して二つ。一つは設計変更ルール上のこと、他の一つは変更内容。

前者には決定のタイミング、ランク分けの論理構成、契約更改の手続きがある。後者には提案競技の主旨の一つであった民間の技術開発意欲の刺激、導入がはかれたか、設計と施工の統合の利益である施工のフィードバックが設計変更を通して実行されたか、がある。

(8) 対策

講ずべき対策は三つ。一つは設計変更ルールをタイムリーに運用できるよう実際的にすること。二つはVE提案等を制度的に認知し、技術開発意欲の喚起をはかること。三つは複数発注者の意思決定のルール、推進組織のあり方の研究。

4.5.3 処理過程

設計変更処理のルールは既に述べた。ここでは設計変更内容と変更理由、分類確定上の問題点、精算段階での問題点について考察する。

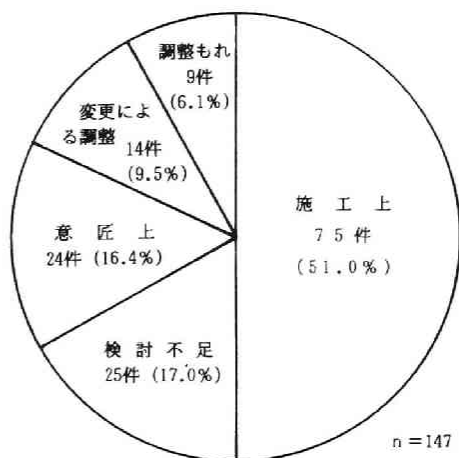
(1) 設計変更の内容、理由、要因

全体で408件、受注者事由が大半であることは前述のとおり。設計と施工を一体化したことで受注者の設計変更要求が容易であったことによる。

設計変更の要因を大別し、その特徴を挙げると以下のとおり。①図面のくい違い、記入ミスによるもの — これは図面の修正の範囲に納り、工事に影響を及ぼさないもので、Aランクの多くはこれに該当する。②細部検討、設計の不充分さに起因するもの — 標準タイプの設計のみで個々のケースが細部まで検討されていないもので、Bランクの多くはこれに該当する。③納り、施工上の要因 — 施工段階で施工図上の検討、施工方法の検討によって不具合が発見されたもので、B、Dランクの変更の主要な要因である。④意匠上の要因 — 形態、納り上の変更で、開口部、パラペット等の形態、仕上げなどの変更を意匠上の観点から行なうものである。Bランクに多く、Dランクにも多少ある。⑤機能、性能

上の要因によるもの — 安全性、耐久性、保守性、使い勝手等の機能、性能上の検討の結果によるもので、B，Dランクに若干見られる。設備工事の設計変更には比較的多い。⑥関連工事との調整によるもの — 地区計画、屋外付帯工事による調整に起因するもので、内容的には②に含まれるもの。⑦技術（製品）開発の成功、失敗によるもの — 新技術開発の成功によるP C a板のオムニア筋、オムニア板、継手金物の使用等と、新技術の不適合による共用階耐火被覆材である石綿サンドイッチパネルの使用中止などである。B，Dランクにみられる。⑧行政等の指導によるもの — Cランクの設計変更の要因で、ガス、電気等エネルギー供給サイドからのものと、市水道局によるものが多い。⑨発注者都合によるもの — 発注者からの追加工事の要求、設計条件の変更によるものでEランクの要因である。⑩周辺、環境条件への適合によるもの — 例えば、鋼管杭から場所打杭ベント工法への変更等である。⑪現場の工事進行が設計図と異なっていたことによるもの — 工事の初期段階において当該プロジェクトの発注方式を「性能発注」と混同されていたことから生じたもので、後に性能上の確認と設計変更の処置がとられた。⑫以上の変更に伴う調整によるもの。

変更された項目が多いB，Dランクについて一般構造の設計変更の理由の判明しているもの147件について要因別に図4.54に示す。147件のうち〈施工上〉、〈検討不足〉の理由による設計変更が100件（68%）を占め、設計段階において施工情報が十分に先取りされていたとは考えられない。



（2）分類確定上の問題点

当該プロジェクトの設計変更処理のルール 図4.54 設計変更の発生原因
は初めての経験であり、試行錯誤的であった。分類確定に至る過程に必要とされた人的、時間的資源は膨大なものである。問題点を以下に列記する。

①契約書及び設計変更処理のルール上規定されている分類は一応の目安である。運用上は多少困難な点を含んでいる。たとえばB，Dランクの分類について。いずれも変更の要因は受注者事由によるが、果たしてそれが、性能、価格に変更を生じるのか否かの判定を要する。価格についていえば、設計変更によって何等かの価格の変化が生ずるのは通常である。それをB，Dに分類するには何らかの基準が必要である。さらにプロジェクトの規

模が大きい場合には、一箇所の変更価格はさほどでないにせよ全体としては相当程度の額になることが予想される。項目としてはBでありながら全体としてDランクに分類せざるを得ないケースがありうる。事実第一次設計変更ではこのケースが多く発生している。

一方性能に関しても原契約においてたとえば各部位の耐用年数、保証期間等が明示されているのではなく、全体として建築、設備工事について、カシ保証期間を3年と定めているにすぎない。原契約で規定された性能がどの程度かは個別には明らかではない。また設計変更によって性能がどう変化するか数量的に把握できるものは少ない。現実には変更しようとする材料、製品等のメーカー側の試験、実験データに基づいて判断せざるを得ない。

性能、価格いずれにせよ設計変更によってそれらに変化が生じるか否かの判断基準が明確でない限り、B、D二つに分類することは相当程度の困難を伴う。

②分類に際し、発注者と受注者相互の間で意見の差異が生じやすい。特に①で述べたように分類の基準が明確でないB、Dランクの分類にこの傾向が強い。全般的な傾向としては図4.55の二つのケースがあった。

| | 受注者の主張 ←→ 発注者の主張 |
|------|------------------------|
| ケース1 | C or D 項目 ←→ A or B 項目 |
| ケース2 | A or B 項目 ←→ D 項目 |

図4.55 変更項目分類の相違点

・ケース1 — 受注者側にとってコストアップになる変更は極力契約更改で増額対象になるよう努力するのは当然のことといえる。従って設計変更が行政、供給事業体の指導という形で何らかの説明がつく限り、Cランクを主張するのは自然である。又、受注者事由による場合でも、価格の増減なしのBランクよりは、受注者にとってコストアップになる設計変更に関してはDランクにして、増額されないまでも受注者負担で発注者にサービスをしているのだと印象づける方が後の精算段階で有利であると判断することも理解できる。一方発注者にとっては設計変更が減額とならない限り、C、Dランクに分類することは支出負担に直接つながる。またC、Dランクに分類するには、その変更理由が明確にされ、且つ回避することが不可能で妥当性のあるものでなければならず、この点での判断基準がないことから価格に関係しないA、Bランクに分類しようとする。

いずれにせよ、このケースは設計変更によってコストアップひいては契約更改で増額となる項目についておこる問題である。

・ケース2 — このケースは建築費が減少する場合である。当然のことながら発注者は減額対象に、受注者はそれを避ける行動に出る。この背景にはコストダウンの成果はすべて発注者側に帰属するとの考えがある。

③分類確定上の問題は発注者と受注者相互の間においてのみならず、発注者三者間においても生じている。これはプロジェクトの捉え方（性能発注かどうか）、契約図書の範囲（SD=Standard Detail, SF=Standard Finish までを契約図書とするか否か）等にも関係する。通常単独発注では細部の変更は現場処理できたが当該プロジェクトの場合、一つの発注者が設計図書とのくい違いを指摘すれば全発注者が設計変更として処理する必要が生ずる。さらに変更がA～Eのどのランクに該当するか協議を必要とする。このこと自体はむしろ好ましいことともいえるが、例えばSD, SFにのみ記載のある項目について指摘があれば、SD, SFを契約図書としていない発注者はその取扱いに苦慮せねばならず、問題がある。

④分類の基準が不明確で、発注者間で設計変更の分類に意見のくい違いが多数発生し、分類確定作業を困難なものとした。最終的にはくい違いのある項目は発注者個別に対応した。

⑤また各発注者はその供給対象である入居者層を異にしており、住宅の内容にも差がある。従って設計変更項目として統一的に処理できる範囲にはおのずと限界がある。この点を十分に認識しておかないと、設計変更処理の過程が煩雑になりかねない。住戸内装工事がそれに該当する。

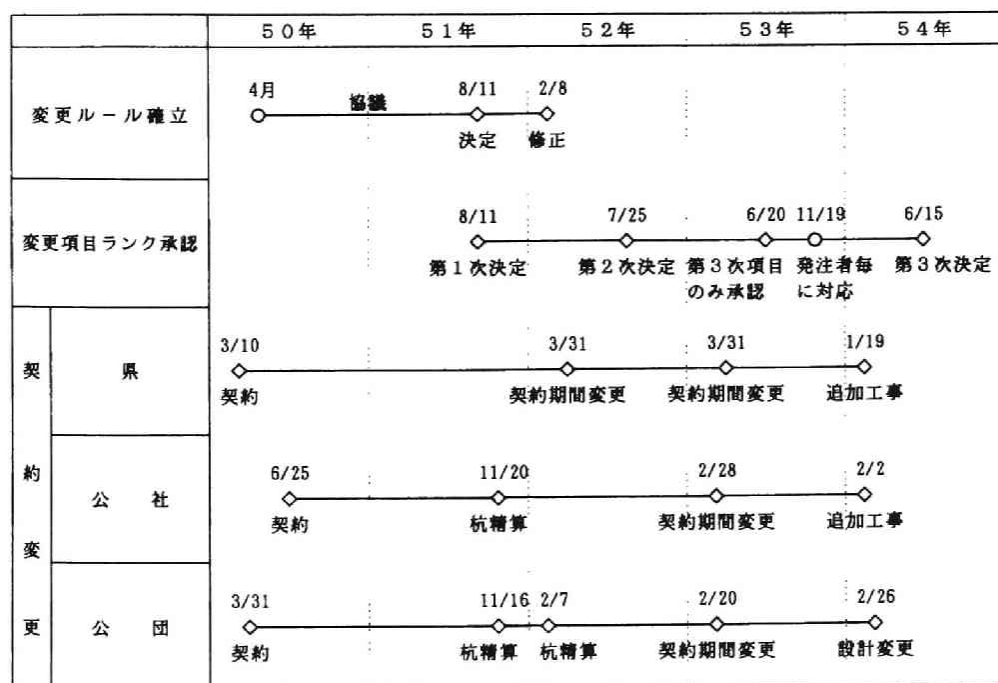


図4.56 設計変更のルール、承認、契約のタイミング

以上設計変更の分類確定上の問題点を列挙したが、いずれにせよ価格面での正式な協議はなく、精算段階にもちこされている。

(3) 精算段階での問題点

① 設計変更の契約更改過程

ここでいう契約更改は公団契約における第4回契約更改、つまり精算段階のことであり、第1回及び第2回の基礎工事に関するもの、並びに第3回工期変更に関するものは含んでいない。(図4.56) 契約更改に至る過程の概略を図4.57に示す。

a. 契約更改に入れる変更項目の整理

この段階での前提は次の二つである。

- ・ 計画部会等で決定された分類は考慮するが、一応そのランクをはずして考える。
- ・ 変更項目個々に精算処理すること。

具体的にいえば建築工事では変更項目個々の増減を算出し、減額となる項目だけを集計し、契約更改の減分類Dランクとする。C、E項目についてはその増減を算出し、総計を契約更改の増分類C、Eランクとする。一方設備工事では増減対象であるDランクの項目を一括して処理し、全体として増額となるので個々の増減は問わないとされた。

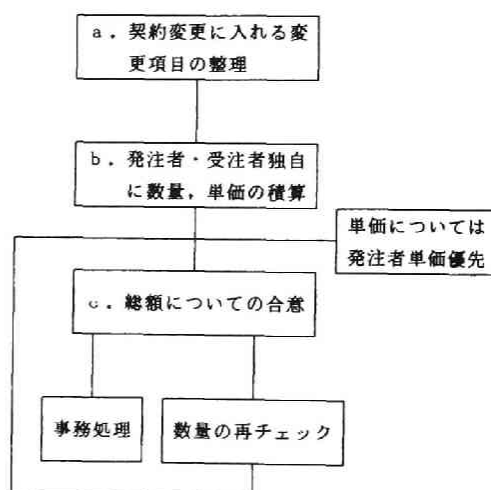


図4.57 設計変更の変更価格決定過程

表4.18 設計変更分類比較表

| ＜設計変更ルールによる分類＞ | | | | | | ＜精算段階での分類＞ | | | | | |
|----------------|-----|----|----|----|----|------------|----|----|----|----|--------------------------------|
| 分類 | | 1次 | 2次 | 3次 | 計 | | 1次 | 2次 | 3次 | 計 | 備考 |
| 建築 | C、E | 8 | 2 | 7 | 17 | → | 3 | 0 | 0 | 3 | 1次の3は第1回及び第2回契約更改にて行なわれたと解される。 |
| | D | 54 | 5 | 35 | 94 | → | 51 | 7 | 38 | 96 | |
| 設備 | C、E | 2 | 0 | 0 | 2 | → | 1 | 0 | 0 | 1 | |
| | D | 21 | 3 | 3 | 27 | → | 3 | 5 | 3 | 11 | |

この前提に立って設計変更処理ルールから決定された分類（表４．１７）と精算段階の分類を比較したものが表４．１８である。同表より次のことがいえる。ルールによる分類で建築Ｃ、Ｅでは第一次の８件のうち３件は第１回及び第２回の鋼管杭の精算の契約更改で処理されたが、残５件はＤ項目に変更されている。さらに第二次の２件、第三次の６件についてもＤ項目に変更され、第三次の残１件は工事費内訳に記載がない。一方設備Ｃ、Ｅでは第一次の一件がＤ項目に変更されている。建築、設備共にＤ項目の数字がくい違っているが、これはＢ項目よりＤ項目にあるいはその逆のケースがあるためである。

いずれにせよ設計変更ルールによって確定されたランクづけが精算段階において大幅に変更された。

ｂ．発注者、受注者独自に数量、単価の積算

受注者では工務課が、公団では外注で変更工事の数量の確定作業に入る。単価は発注者単価が適用され、総額での協議に入る。

ｃ．総額での協議

総額での協議は実務ベースで行われている。つまり発注者、受注者双方から実務担当者が出席して行われた。総額で合意点に達するまで独自に行われた数量積算の再チェックが行われ、最終にはそれぞれの組織内の合意を待って契約更改に至っている。

②精算段階での問題点

ａ．設計変更処理ルールに従って確定した分類が精算段階で変更されている。背景には、発注者の内部組織の問題として

（ⅰ）現業部門と計画部門が分離されており、その間の意思の疎通にかけたこと

（ⅱ）設備担当者の計画部門への参加が少なく、建築担当者主体で分類したこと
など部門の権限問題

（ⅲ）担当者が途中で交替し個人差が出たこと

発注者、受注者、双方の問題として

（ⅳ）決定事項の確認と議事録が存在しなかったこと

があげられる。

いずれにしてもこうした精算段階での変更は分類作業に費やされた膨大なエネルギーの価値を減少させ、計画部会、発注者協議機関での協議決定のあり方に問題を提起している。

ｂ．精算のやり方が建築と設備で異なる。建築では、Ｄ項目に関して増額は認めないまでも、各項目についてその増減を明らかにし、減額対象項目は契約金額の減額を行なってい

る。一方設備では工事費内訳は2件について記載されており、残りのD項目は全体として増額となるので各項目の増減は問わないとしている。このように同じ設計変更ルールに従ったものでありながら精算段階においてその扱いが異なる点で一貫性に欠ける。

c. また各発注者の事情により、同一の変更項目を原契約の更改とする主体と、追加工事として別契約する主体が存在する。同一の場で同じルールに従って処理することに無理があり、その限界を明らかにしておく必要がある。

d. 契約更改は変更の都度行うのが原則であり、ルール上もそう規定している。少なくとも第一次～第三次の分類が確定された段階で行なわれてしかるべきである。当該プロジェクトの最終段階で一括して処理されたことの背景、理由は必ずしも明らかではない。

4.5.4 まとめ

(1) 設計変更ルールの確定には契約以降相当な時間を要している。新しい契約方式下でのルール作りの試みであったこともさることながら複数発注者であること、大規模工事であることが問題をより一層複雑にしている。例えば、何段階もの意思決定を必要とすること、変更件数の多さなどである。

(2) 細部の設計のつめ、手直しなどの変更項目が多い。理由は二つ。一つは発注者、受注者双方に受注者作成の完成設計図書に基づく契約という点での意志統一が不充分であいまいさを残していたこと、従って設計図面、仕様書、施工要領書、SD、SFの検図、検討が充分ではない。二つは工事自主監理とはいえ、設計図書に基づく施工という点での徹底を欠いたことによる。そのため受注者は民間発注における設計施工プロジェクトと混同した可能性が強い。前者の理由の例には住戸内装の変更、後者のそれには現場と設計図のくい違い（プロジェクト期間を通して工事が変更処理よりも先行し、発注者側監督員に現場と図面のくい違いを指摘されたケース）がある。

(3) 施工上の問題解決のための設計変更が多い。これはある意味では、施工条件を設計へフィードバックさせる機能を設計変更が果たしているといえるが、変更のなかには設計段階で施工情報を先取りしておけば、設計変更を必要としなかった内容が含まれている。

(4) 設計変更の内容には工事の追加の面と節約の面の両方が含まれている。PCa板などではある程度技術開発、コストダウンの努力がなされている。この場合性能が低下しないという制約条件はあるが、技術開発、コストダウンを促す利益の分配等インセンティブに関してのルールがなく、設計変更を要しない範囲内での一種の企業内VE努力である。

このルールが明確であれば、さらに企業努力を引出せたものと思われる。特に当該プロジェクトのように大規模、長期なものにその可能性が強い。ちなみに精算段階で減額となったものが仮にすべてVE努力によるものと考えても公団の場合契約額198.8億円に対して減額54百万円、率にして0.27%である。

(5) 行政指導等によるものが相当多い。これらは工事開始後の具体的折衝で初めて確定するものが多い。特に当該プロジェクトのような新規性によるもの、大規模性の影響によるものの場合には十分な配慮が必要である。

(6) 設計変更の承認、工事施工、契約更改は必ずしも整合的であったとはみえず、とりわけ精算段階でその可能性が強い。

参 考 文 献

- * 1) 日本建築学会近畿支部：芦屋浜団地建設における生産管理システムの調査研究
第一次中間報告，日本建築学会近畿支部，1977.1
- * 2) 古阪，古川他：設計施工競技方式による団地建設に関する研究（5），工期の設定，日本建築学会大会学術講演梗概集，日本建築学会，1979.9
- * 3) 日本建築学会近畿支部：芦屋浜団地建設における生産管理システムの調査研究
第二次中間報告，日本建築学会近畿支部，1978.1
- * 4) ASTM共同企業体：集中生産工事管理システム実施要領，ASTM共同企業体，1976
- * 5) （財）経済調査会：積算資料，経済調査会出版部，1978.1
- * 6) 古阪，古川他：設計施工競技方式による団地建設に関する研究（3），サイト工場におけるPCa板の生産，日本建築学会大会学術講演梗概集，日本建築学会，1978.9
- * 7) 人見，室他：ASTMプロジェクトの生産システムに関する調査研究，その2 工業化・量産化による工場生産と現場施工労務への影響，竹中工務店技術研究所内発表資料，1978
- * 8) 東樋口，古阪：建築産業のコミュニケーション問題，芦屋浜プロジェクトの場合（建築経済251），建築文化 No.398，彰国社，1979.12
- * 9) 竹中工務店芦屋浜PCa版工場：ASTM芦屋浜PCa版工事概要書，1976
- * 10) 経済学辞典編集委員会編：大月経済学辞典，大月書店，1979.4
- * 11) 岩田，古川他：内装プレハブ工事，設計施工競技による団地建設に関する研究（4）日本建築学会大会学術講演梗概集，日本建築学会，1978.9
- * 12) ASTM共同企業体他：芦屋浜高層住宅街建設工事の内 内装プレハブ工事製造施工計画書
- * 13) 室英治：設計施工競技による芦屋浜団地建設に関する調査報告，日本建築学会論文報告集，1982.3
- * 14) 岩田利通：内装職人の調査研究，京都大学卒業論文，1978.2
- * 15) ASTM共同企業体：芦屋浜高層住宅街建設工事・工事概要書，1976
- * 16) 前出 14) pp.19
- * 17) 福本，古川他：部品化による住宅供給の成立条件に関する研究（6），内装プ

レハブの施工体制，日本建築学会大会学術講演梗概集，日本建築学会，1979.9

- * 18) 高原，中野監訳，P.Checkland著：新しいシステムアプローチ，pp.169～272，
オーム社，1985
- * 19) 前出 3) pp.246～257
- * 20) 芦屋浜団地建設における生産管理システムの調査研究に入手した資料を整理
したもの
- * 21) 日本規格協会編：JISハンドブック（1984年版）品質管理，pp.111，日本規格
協会，1984.4
- * 22) 前出 18) pp.237
- * 23) 前出 18) pp.211
- * 24) 近藤次郎：システム工学（改定増補），pp.65～66，丸善，1981.3
- * 25) 深井，古川他：部品化による住宅供給の成立条件に関する研究（5），ALC板の
販売・施工システム，日本建築学会大会学術講演梗概集，日本建築学会，1978.9
- * 26) 石川篤：ALCの販売施工体制，京都大学卒業論文，1977.2
- * 27) 古川，古阪：芦屋浜高層住宅プロジェクトにおける契約方式と生産システム，
住宅 VOL.28，No.12，日本住宅協会，1979.12
- * 28) 深井，古川他：設計施工競技による団地建設に関する研究（6），設計変更，
日本建築学会大会学術講演梗概集，日本建築学会，1979.9
- * 29) 日本建築学会近畿支部：芦屋浜団地建設における生産管理システムの調査研究，
第三次報告，日本建築学会近畿支部，1980.3
- * 30) 増田重華著，日本建築学会編：建築学便覧Ⅰ 計画（第2版），施工契約，丸善，
1980.2
- * 31) 四会連合協定 工事請負契約約款 昭和56年9月改正
- * 32) ASTM企業連合：《青い空，青い海，緑の街》芦屋浜高層住宅プロジェクト，
pp.5，ASTM企業連合，1975

第5章 維持保全段階での決定問題の実態

住宅のストックは38百万戸を超え、また鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造による中高層集合住宅に限っても1984年現在450万戸を超えると推定される。

維持保全が問題とされる要因は大別して次の四つである。

①量から質の時代へ

新設から運用の時代へ

②建築物の大規模化

機能の複雑化、多様化

③設備機器の装備率の増大

建築機能の設備依存度の拡大

④品質保証体制の確立

新設時の品質のみならず一定時間経過時の品質を重視

しかし現在のところ、設計段階で維持保全を考慮した信頼性設計、保全性設計が実施されることは少ない。維持保全段階において初めて検討される。こうした中で増改築、修繕の顕在、潜在需要は莫大な額にのぼる。しかるに現在の維持保全計画及び工事実施の意思決定は論理的手順に欠け、きわめてあいまいなものとなっている。一方維持保全、修繕に関する調査研究は多くの成果をあげつつあるが、いずれも過去の修繕行為の費用支出のデータ収集の域を出ず、必ずしも修繕行為の合理的な意思決定に有効な結果が得られているとはいいがたい。そこで本章で中高層集合住宅の維持保全を主として修繕問題に限定してとりあげる。5.1節では計画修繕の立案、決定問題を扱い、5.2節で計画修繕の実施上の問題について論述する。

5.1 中高層集合住宅の修繕計画決定問題

5.1.1 対象プロジェクト及び問題の概要

(1) 対象プロジェクトの概要

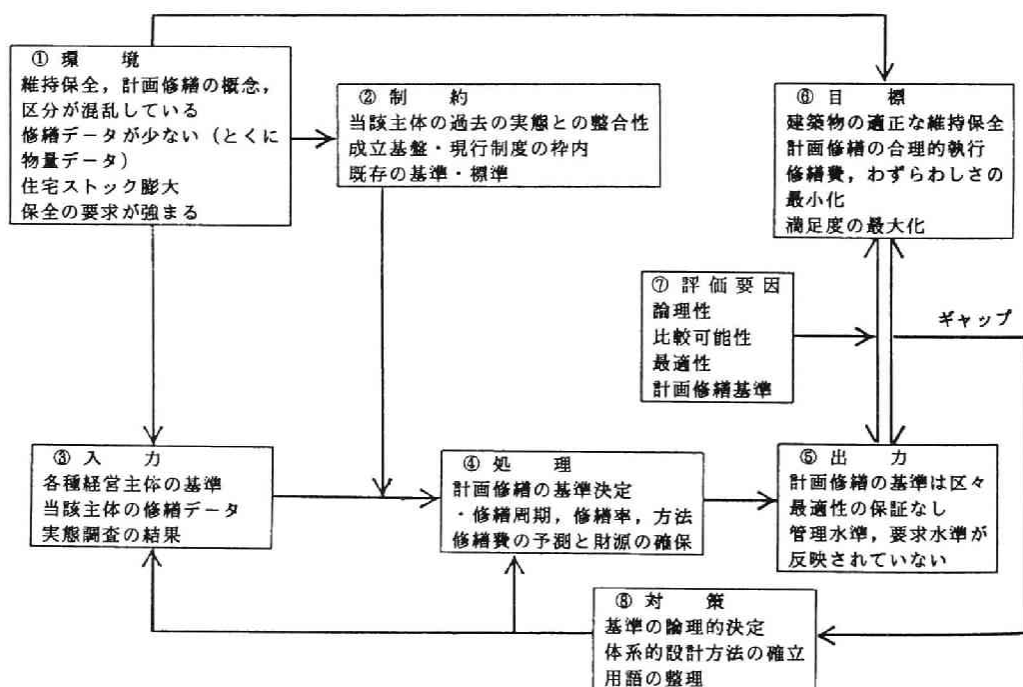
対象プロジェクトは前節までのような単一のプロジェクトではなく、中高層集合住宅プロジェクト一般である。中高層集合住宅は供給主体、供給方式、供給対象を異にしており、それぞれに応じた修繕計画を用意する。これら全体を対象とし、また必ずしも中高層集合

住宅を主として供給しているわけではないが、やや体系化された例として、建設省、日本電信電話（株）（以下NTTと略す）も対象の範囲とする。

（２）問題の概要

建築の維持保全に関して一般的な定義はない。維持管理、建築保全、保安全管理、メインテナンスなどが同義語である。その一部である修繕に関しても事情は同じである。ここでとりあげる修繕は各経営主体が計画修繕とした修繕で（詳細は後述）、その計画修繕を立案、決定する問題を扱う。

計画修繕の範囲、予め修繕計画表として用意しておくかどうかは経営主体によって異なる。主体には二つある。一つは集合住宅の供給主体で賃貸住宅に多い。二つは集合住宅の居住者で分譲集合住宅の管理組合がその典型である。修繕計画表が作成される場合も主体により項目、周期、工事量の点で異なり、区々である。端的には経験と達観に依存し、論理的な根拠に欠ける。従ってこの修繕計画表に基づく修繕計画の概算工事費もその根拠に欠ける。過去のデータを積み上げた結果だけが残る。過去の経験が常に最適であった場合、このようにして立案された修繕計画は最適である可能性はあるが、過去の経験がそうでない場合最適性の保証はない。さらにどうすれば最適なものに近づくことが可能かを検討す



ることではない。

経験と達観に基づく従来のやり方には四つの問題がある。第一、住宅の使用期間の考慮がなく、たとえば30年使用する場合も60年使用する場合も修繕計画は変化しない。第二、主として過去の修繕費データに依存しているため修繕の物理量が把握できておらず、修繕戦略の違いも考慮されていない。第三、居住者のがまんの限度、管理水準の差が反映しない。第四、他の修繕戦略と比較することができず、最適な方法を合理的に求めることができない。従って修繕計画表が作成され、概算工事費が明確にされたとしてもそのとおりに実行されないのが実態である。

5. 1. 2 問題の構造

ここでは修繕計画作成者の観点で問題の分析を行った。問題の構造を図5. 1に示す。以下各要素について論述する。

(1) 環境

維持保全とりわけ計画修繕の概念、区分が混乱しており、過去のデータ、とくに物量データが不足していることがまづあげられる。一方住宅ストックが膨大であり、維持保全への要求、期待が高まっている。ここでは維持保全、計画修繕など用語の混乱をやや詳しくみておく。

JIS Z 8115 信頼性用語（* 1）によれば保全とは「アイテムを使用及び運用可能状態に維持し、又は故障、欠点などを回復するためのすべての処置及び活動」としている。その備考欄で管理上の分類を

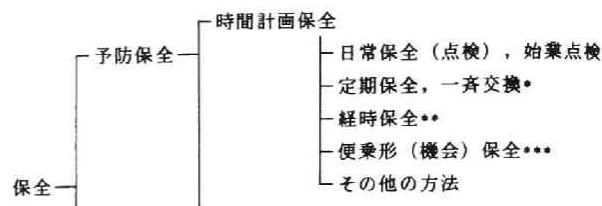


| | |
|-------------|--|
| 予 防 保 全 | アイテムの使用中的故障を未然に防止し、アイテムを使用可能状態に維持するために計画的に行う保全。 |
| 事 後 保 全 | 故障が起こった後でアイテムを運用可能状態に回復するために行う保全。 |
| 時 間 計 画 保 全 | 予定の時間計画（スケジュール）に基づく予防保全の総称。 |
| 定 期 保 全 | 予定の時間間隔で行う予防保全。 |
| 経 時 保 全 | アイテムが予定の累積動作時間に達した時、行う予防保全。 |
| 状 態 監 視 | アイテムの使用 及び 使用中の動作状態の確認、劣化傾向の検出、故障や欠点の位置の確認、故障に至る経過の記録及び追跡などの目的で、ある時点における動作及びその傾向を監視すること。監視は、連続的、間接的又は定期的に点検・試験・計測・警報などの手段若しくは装置によって行う。 |
| 状 態 監 視 保 全 | 状態監視に基づく予防保全。 |

図5. 2 保全の管理上の分類（* 1）

図5.2のごとく定めている。時間計画保全について塩見弘（＊2）は定期保全、経時保全に加えて日常保全、便乗型保全を取りいれている。（図5.3）故障とは「アイテムが規定の機能を失うこと」、アイテムとは「信頼性の対象となるシステム（系）、サブシステム、機器、装置、構成品、部品、素子、要素、などの総称又はいずれか」である。建築の場合この『規定の機能』を定義することがむずかしいアイテムが多く、故障の明確さに欠ける。

建築での保全の定義はたとえば建設省の『建築物保全業務要領』（＊3）の中で「施設の機能の維持及び耐久性の確保を図るために行う点検、保守、運転、保安及び



- ＊ 比較的安いユニットを定期的に一斉に保全、交換を行う。
- ＊＊ 個別にある一定の時間（年令）まで動作したら取替える。
- ＊＊＊ いくつかのユニットをまとめて一緒に取替える。

図5.3 保全の分類（＊2）

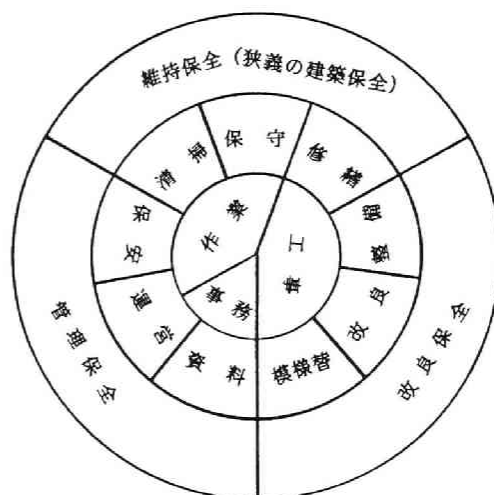


図5.4 建築保全の分類（＊4）

修理をいう。」とある。また海野英晴（＊4）は「建築保全とは、建物等の性能や機能を維持し、あるいは向上させるために行う修繕・整備・改良・模様替等の工事、保守・清掃・保安等の作業、並びにそれらに関連して行うすべての作業及び事務をいう。」と定義し、図5.4のように分類している。実務上の定義は保全業務要領、営繕工事実施規程にあり、住宅・都市整備公団、東京都、神奈川県住宅供給公社等での維持保全業務の分類と計画修繕の定義を表5.1に整理しておく。ここに計画修繕とは建築特有の用語と解され、定義上はJIS信頼性用語にいう予防保全のうちの定期保全に同義と解される。但しNTTのそれは塩見弘のいう日常保全である。いずれにせよ定説はない。

（2）制約

計画修繕の基準を作成する際の制約には三つある。一つは当該主体の過去の実態、たとえば修繕の内容、項目、費用などの整合性。二つは主体の成立基盤、現行制度の枠内であ

表5. 1 各経営主体の維持保全業務区分・計画修繕定義比較表

| | | | | |
|--------|--|---|--|--|
| 維持保全業務 | 東京都・東京都住宅供給公社（※5,6,7,8） | | 神奈川県住宅供給公社（※9） | |
| | 宮構工事—計画修繕 一般修繕—時間的余裕のない場合に行う修繕、部分修繕、緊急修繕、空き家補修、団地内の遺留物、不要設置物に処理等、その他 特別修繕 環境整備—施設改善、公害対策、緑化対策、身体障害者等対策 | | 修繕業務—経年修繕、経常修繕（小口修繕）、退去修繕、特別修繕 かし補修処理業務 保守点検及び調査業務 改良業務 団地環境整備業務 災害対策業務 模様替の承認業務 | |
| 計画修繕 | 計画修繕 住宅及び付帯施設並びに共同施設について、修繕・改善・新設及び増設工事を行うにあたり、年次計画を策定し、計画的に実施する工事をいう | | 経年修繕 住宅等の耐用年数をまっとうするために行う修繕で、一定の経年により修繕周期を設け、計画的に修繕を実施するものとし、その箇所及び周期等は別に定めるものとする | |
| 維持保全業務 | 大阪府住宅供給公社 | | 住宅・都市整備公団（※10） | |
| | 一般修繕—経常修繕 計画修繕—退去跡修繕 特別修繕 特別環境整備 | | 維持保全—巡回点検業務、経常修繕業務、特別修繕業務、計画修繕業務 修繕—空家修繕業務—普通空家補修業務、空家特別補修業務、災害復旧業務 改良保全—改良整備—改良整備業務、改良工事業務、環境整備—団地環境整備業務、防災工事業務 管理保全—保全工事の発注、記録、統計等の事務 | |
| 計画修繕 | 計画修繕 修繕項目毎に実施する周期を定め、団地単位で実施する修繕 | | 計画修繕 一定の修繕周期に基づいて計画的に実施する修繕工事 | |
| 維持保全業務 | (株)団地サービス（※11） | NTT（※11） | (総プロ)建築物の耐久性向上技術の開発 (分譲集合住宅の場合 ※12) | |
| | 計画修繕 日常の普通修繕 | 計画修繕 計画外修繕 災害復旧工事 点検保守の業務 | 保守・点検、診断調査 日常修繕 計画修繕—大規模計画修繕、小規模計画修繕 改良 | |
| 計画修繕 | 計画修繕 「建物及びその付帯設備の維持管理をする上での補修、改良、改修及び増設」をあらかじめとりきめた計画に基づいて実施することを計画修繕という。 計画修繕の範囲 イ、大修繕 ロ、改良・改修工事 ハ、老朽化予防工事 ニ、機器のオーバーホール | 計画修繕 計画的に実施するものについては定期点検の結果に基づき現場管理機関から取扱局実施範囲が指示されます。 建物等の維持管理に必要な費用は年度当初通知され、当該年度は原則的にこのわく内で運営するしくみになっていますから、年度当初予算が確定次第配分計画を立て逐次実施します。 | 計画修繕 準備と計画性を必要とする長期修繕計画による修繕。 長期修繕計画とは長期にわたる一斉修繕のための計画を作成しておくことで、この一斉修繕は、一定の時期を予定して計画的に行い、そのための費用、管理組合の体制、施工技術の適用の面で準備を行うことが必要である。 計画修繕は大きく分けて、大規模修繕と小規模修繕がある。前者は長い年数の間におこる比較的高額の経費を必要とするものであり、後者は金額は少ないが計画的に実施が求められるものである。 | |

表5.2 計画修繕標準比較表(*11)

| 区分 | 工種別 | 修繕方法 | 修繕周期(年) (修繕率(%)) (A:物量比, (B):費用比) | | | | | | | |
|----|-----|----------------------|------------------------------------|--|---|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | | 注1 | 注2 | 電 公 | 神奈川県 | 東京都 | 東京都 | 公団規準 | 高住協 |
| | | | 学会標準 | 小林氏標準 | 社規準 | 公社標準 | 公社標準 | 営規準 | 公団規準 | 規 準 |
| 建 | 屋 | アスファルト防水 | (A) | (B) | (B) | | | | | |
| | | | 部分修理 7(14) | 10(10) | 10(10) | 10(10) | 10(-) | 10(-) | 10(-) | |
| | 根 | モルタル仕上 | (A) | (B) | (B) | ※モルタル仕上を含む | | ※モルタル仕上を含む | ※A型工法 | |
| | | | 部分修理 5(15) | 5(15) | 5(15) | | | | | |
| | 外 | リシン仕上 | (A) | (B) | (B) | 5(10) 吹付 | 吹付 15(-) | 吹付 10(-) | 汚染の程度により 全面改修 | 吹付 8~ 10(-) |
| | | | 全面塗替 25(100) | 25(100) | 25(100) | 10(100) | | | | |
| | 壁 | タイル貼 | (A) | (B) | (B) | | | | | |
| | | | 部分修理 15(15) | 10(5) | 10(5) | 10(10) | | | | |
| | 外 | アルミサッシ | (A) | (B) | (B) | 部分修理 10(20) | | | | |
| | | | 金具取替 枠修理 建具修理 枠取替 建具取替 | 雨がかり面 5,5(3) 20,10(10) 20,10(10) — 40,25(100) | | 取替 30(100) | | | | |
| 主 | 建 | 鉄部塗装 (サッシ・ドア・手摺等) | (A) | (B) | (B) | 塗装 雨がかり面 4(100) | 塗装 4(100) | 塗装 5(-) | 塗装 雨がかり面 3(-) | 塗装 雨がかり面 2(-) |
| | | | 防錆 6(100) | 12(100) | その他 5(100) | | | | その他 6(-) | その他 5(-) |
| | 内 | 木製ドア | (B) | (B) | (B) | | | | | |
| | | | 金具取替 枠修理 建具修理 枠修理 建具取替 | 6(18) 13(18) 10(20) 30(120) 28(100) | 6(20) 15(20) 10(20) — 30(100) | 6(20) 15(20) 10(20) 30(100) 30(100) | 浴室の出入口戸を アルミ製に取替 | | | |
| | 具 | ふすま | (B) | (B) | (B) | | | | | |
| | | | 部分修理 3(45) | 5(10) | 15(100) | | | | | |
| | 階 | 鉄製避難階段 | (B) | (B) | (B) | | | | | |
| | | | 部分修理 8(16) | 5(5) | 10(7) | | | 廊下型建物に屋外 避難階段を設置 | | |
| | 段 | 鉄製避難階段 塗装 | (A) | (B) | (B) | | | | | |
| | | | 部分塗装 — | 5(25) | 10(100) | 4(100) | 5(-) | 3(-) | 3(-) | 2(-) |
| 休 | 雑 | 桶 | (A) | (B) | | 5(10) | | 補修及び 取替 | | |
| | | | 部分修理 5(20) | 5(10) | | 25(100) | | 15(-) | | |

注1) 日本建築学会建築経済委員会：耐火建築物の維持保全に関する研究，日本建築学会，1955。

注2) 小林清周：ビルの管理，森北出版，1975 分譲マンションのすべて，鹿島出版会，1980。

ること。三つは論理的な計画修繕の基準の作成が困難とすれば既存の基準、標準（表5.2）とかけはなれないこと。

（3）入力

各経営主体で運用されている計画修繕の基準、用語は詳細の程度、数値にバラツキがあるとはいえ重要な情報の一つである。これらはいわば計画修繕の基準の雛形であり、一方でその雛形に投入すべき当該主体の修繕データが必要である。修繕データは過去の修理伝票に依存する場合と実態調査により新たに収集する場合がある。修繕費のデータは前者により、劣化の程度、修繕の物理量は後者による場合が多い。いずれの場合も過去の修繕経歴、内容は必ずしも充分に把握することができないのが通常である。

（4）処置

計画修繕の基準の作成は大きく二つの段階に分けられる。一つは修繕の基準たとえば修繕周期、工事単位、修繕方法、修繕率を決定する段階、他の一つはその基準に基づき修繕費の予測を行う段階である。次項で詳述する。

（5）出力

表5.2にみるように計画修繕の基準は経営主体により異なり、基準決定の論理的根拠に欠けることを予測させる。

一方経営主体により基準が異なるとはいえ、類似のものが多いことは管理水準、要求水準の違いが反映されていないことを意味している。

（6）目標

計画修繕の目標は建築物の適正な維持保全にある。適正さは経営主体により力点が異なり、公共では耐久性、民間では経済性を第一にとる可能性が強い。適正な維持保全を達成するためには計画修繕の合理的な執行が必要である。より下位の目標は合理的な執行を前提とした修繕費用の最小化、わずらわしさの回避、満足度の最大化がある。その構造は図5.5のとおり。

（7）評価要因

計画修繕の論理性、その結果としての比較可能性、最適性が評価要因の一つである。また当該基準に管理水準、要求水準等が考慮されていることも評価要因の一つである。

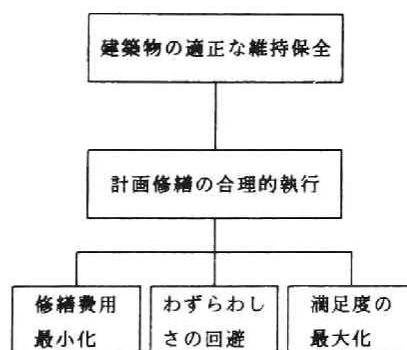


図5.5 目標の階層性

(8) 対策

過去の修繕費データに依存した計画修繕基準は同種、同程度の修繕、管理水準を維持する場合妥当性がある。管理水準を変え、あるいは多少とも最適化をめざす場合異なる方法論が必要となる。つまり計画修繕の基準の論理的な構築の方法論である。

また混乱した用語は整理されねばならない。特に信頼性、保全性等周辺工学との整合的な用語の定義が必要である。

5. 1. 3 処理過程

ここでは計画修繕基準の決定過程として、①計画修繕の定義・区分、②修繕周期決定過程、③修繕費の予測をとりあげる。

(1) 計画修繕の定義・区分

表5. 1にもとづき各経営主体の計画修繕を比較し、相違、特徴をみる。

①各主体に、計画修繕が設けられている。但し神奈川県公社は「経年修繕」がこれに該当する。計画的に実施する修繕工事という点では各主体共通しているが、その内容・範囲は異なっている。たとえば都・都公社は、修繕のみならず、改善、新設及び増設工事までを含んでいる。NTTの場合は、定期点検の結果から、年度計画をたて実施するものとしている。「計画的」に実施するには二つの意味がある。一つは一定の周期で実施する、二つは定期点検を経て実施することである。

②この計画修繕はJIS 信頼性用語の予防保全と事後保全に区分した場合の予防保全に該当する。さらに計画修繕の定義及び表5. 2に示すような修繕周期、修繕実施標準年数を定めている点で定期保全である。ただし計画修繕によって全体として修繕費用を最小化する効果があるかどうか、修繕周期が妥当であるか否かは別の問題である。

③修繕周期、修繕率は同一工種であっても必ずしも一致していない。また経営主体によって修繕率の定め方が物量比、費用比と異なる。修繕周期、修繕標準年数について、修繕の重要な工種（建築工事）である防水、鉄部塗装、外壁塗装だけをとりあげても、アスファルト防水20～25年、鉄部塗替2～6年、リシン吹付10～15年とそれぞれ大幅に異なっている。つまり修繕周期、修繕率が異なる論理構成でもって決定されたと目される。

④修繕項目は多岐に亘るが、実際の修繕工事とつき合わせて見て、工事費の大きいもの、故障発生頻度の高いもの、まとめて工事をした方が有利なもの、放置すると故障が拡大するものなどの区分けによって、重点思考の標準を整備することが必要である。

(2) 修繕周期の決定過程

先に計画修繕の周期の決定は経験と達観に依るとした。全体としてはそうであるにせよ実態調査から修繕周期を決定する方法がいくつか提案されている。主たる内容は a. 劣化の実態の数量化方法、b. 経年と劣化の関係の推定方法、c. 修繕時期の決定方法である。

①石塚提案 (* 13)

a. 劣化の実態の数量化方法

部位別の修繕周期と取替周期を求めるにあたり、建設省の実施している官庁建物実態調査の現存率調査結果の分析を行っている。この調査における損耗実態の把握のための各部位の現存率 (K 値) を、当初性能を 1.0 とし性能を失い取替・更新の必要な段階を 0.5 とし、0.1 きざみに損耗状態を判定した指標として用意している。

b. 経年と劣化の関係の推定方法

横軸に経年、縦軸に K 値の累積分布率をとり、実態調査から得たデータをプロットする。その結果図 5. 6 の実線で示すグラフを描くことができる。石塚義高によればこの図は次のようにみる。

「K 値の累積分布率による部材の寿命の推定の考えと修繕により K 値が高目に移行していくことを次に説明する。(図 5. 7 参照)

$Y_{1.0}$: K 値 1.0 の部位全体に占める割合の経年に対する傾向線

a_0 : $t_0 \sim t_1$ における $Y_{1.0}$ の時間あたりの減少率

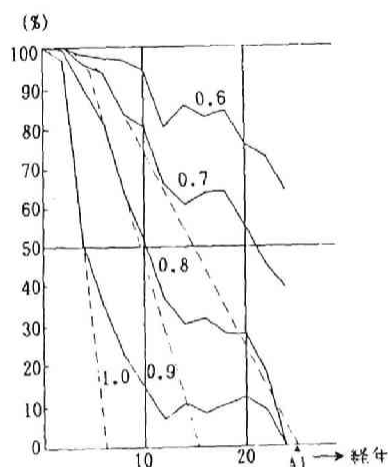


図 5. 6 アスファルト防水押えあり (全施設) (* 13)

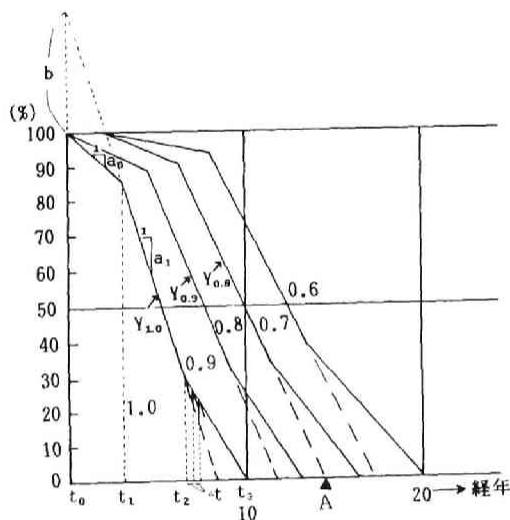


図 5. 7 K 値の累積分布率による取替時期の推定 (* 13)

a_1 : $t_1 \sim t_2$ における $Y_{1.0}$ の時間あたりの減少率

b : $t_1 \sim t_2$ における $Y_{1.0}$ の t_0 時の初期値

c : $t_2 \sim t_3$ におけるK値0.9以下のものの補修率

とすると、 $t_0 \sim t_1$ においては

$$Y_{1.0} = 100 - a_0 t \quad \dots\dots\dots (1)$$

$t_1 \sim t_2$ においては

$$Y_{1.0} = 100 + b - a_1 t \quad \dots\dots\dots (2)$$

$t_2 \sim t_3$ においては

$$Y_{1.0} = 100 + b(1 - c) - a_1(1 - c)t \quad \dots\dots\dots (3)$$

t_2 以前においては部材を復旧させる臨時的修繕は行われていないが、 t_2 以降においては部材を復旧させる臨時的修繕が行われることにより、 $Y_{1.0}$ 式は、 $Y_{1.0}$ 以外の Y からのくりこみによって変化し、2式から3式に移行する。同様にして $Y_{0.9}$ 、 $Y_{0.8}$ 、 $Y_{0.7}$ についても1式、2式、3式の形で表すことができる。

$Y_{0.8}$ の累積分布率の線はK値0.8とK値0.7の境界線を示す。K値0.8では補修を要しない段階であり、K値0.7では補修を必要とする場合が多くなる段階である。同一部材のすべてのK値が0.7以下になるということは、すべての部分が要修繕の状態になることを意味し、その部材の取替時期を示すものと捉えることができる。」

ここに a_0 、 a_1 、 t_1 、 t_2 の求め方は示されておらず、従って(1)～(3)式を実態調査から推定する方法は判然としない。

c. 修繕時期の決定方法

同じく石塚義高によれば「 $Y_{0.8}$ の累積分布率の線は、修繕が行われる段階で3式へ変形するが、修繕による部材の取替時期の変化をなくすため、変形以前の状態、つまり2式の延長線を求め、それが累積分布率0と交わる時点では、同一部材のすべての部分が要修繕の状態になることから、その部材の取替時期を表していると考えられる。図5.7でA点が取替時期を示す」としており、図5.6のアスファルト防水の例ではA1点つまり経年25年が取替時期である。

このように取替時期は b の推定式の問題は別として求めることができるが、部分修繕の量と時期は明らかにはなっていない。

この石塚提案の問題点は三つある。一つは b で述べた推定式の求め方。二つは過去の修繕経歴(内容、頻度、量)は問題としない一方で、取替時期を推定する際は現状をベー

スにしており、推定誤差の大きさを予想させること。三つは物理的な取替時期の算出であって経済性の検討はないこと。

②回帰分析による方法

a. 劣化の実態の数量化方法

実態調査の結果を、劣化度＝（低下機能）／（初期機能）×１００（％）と定義して数量化する。数量化には二つの方法がある。一つは当該部位全体に対して劣化した部分を面積比、長さ比などで表す方法。二つは①と同様で間隔尺度を用意して調査者が尺度のあてはめを行なう方法。

b. 経年と劣化の関係の推定方法

横軸に経年、縦軸に劣化度を取りグラフ上にプロットする。次にこの分布を最もよく表す回帰曲線をあてはめる。通常は次の三つのいずれかをとる。

$$(i) F = a \cdot T + b$$

$$(ii) F = a \cdot b^T$$

$$(iii) F = a \cdot T^b$$

ここにF：劣化度、T：経年、a，b：回帰曲線の係数

(i)、(ii)、(iii)の関数はそれぞれ通常のグラフ、片対数グラフ、両対数グラフ上で直線となるため調査データをグラフ上にプロットする際、この点を考慮すればすべて直線回帰で検討することが可能である。ちなみに飯塚裕（*14）の減耗曲線は(iii)式をあてはめたものである。

c. 修繕時期の決定方法

b. の回帰曲線により劣化度１００となる経年が理論的には取替時期である。しかし修繕取替時期に経営主体の管理水準、居住者の要求水準を考慮する場合には別の基準を用意しなければならない。劣化度がどの程度になったら修繕するか。方法は二つ。一つは外的に一定値を与える方法。二つは主観的要素の強いものは調査によりその時期を統計的に処理して求める方法。統計的に処理するとは修繕した方がいいと考える劣化度を平均値で求める、多数意見を採用する、等々である。

回帰分析による方法の問題点は先の石塚提案と同様に物理的な取替時期、修繕時期は算出できるが経済的であるかどうかの検討はできない点にある。

(3) 修繕費の予測

計画修繕費の予測には表5. 2に示された計画修繕周期、修繕率、取替周期の他、数量、

単価のデータが必要となる。計画修繕費計算の一例を図5. 8に示す。同図では計画修繕周期を耐用年数とし、取替をも含めて簡略化している。あくまでもガイドライン的性格のものである。

(1)この表は下記建物の計画修繕費の54年3月現在の予定額です。

(2)この計算の基礎となる建物の概要は次のとおりです。

総戸数 74戸 敷地面積 2,228㎡

建物延面積 5,301.40㎡ (専有部分合計面積 4,823.23㎡ 共用部分合計面積 478.08㎡)

(単位：円)

| 種 別 | 数 量 | 耐用年数 | 工 事 内 容 | 概算費用 | 備 考 |
|-------------------|----------|---------|------------------|------------|-----------------------------------|
| 非 常 階 段 | 一 式 | 約 2 年 | 塗装(錆落し、仕上げ2回) | 808,000 | 門扉も含む |
| 屋 上 手 摺 他 | 約 200m | " | " | 161,000 | |
| 階 段 手 摺 他 | 約 50m | " | " | 43,000 | |
| 塔 屋 タ ラ ノ ブ | 一 式 | " | " | 32,000 | |
| ベ ラ ン ダ 手 摺 他 | 約 855m | " | " | 430,000 | |
| 排 水 管 | | " | 清掃(カンツール及び重品洗浄等) | 430,000 | 自転車置場鉄骨及び外灯も含む 薬品洗浄等1戸当り4,000円 |
| 屋 上 物 干 場 | | " | | 80,000 | |
| | | | 小 計 (1) | 1,984,000 | |
| テ レ ビ 集 中 ア ン テ ナ | 1 本 | 約 3 年 | 交 換 | 75,000 | |
| | | | 小 計 (2) | 75,000 | |
| 防 火 扉 | 約 75㎡ | 約 5 年 | 塗装(錆落し、仕上げ2回) | 108,000 | 足場、下地処理、シート張り含む カラーエポキシ床用材使用 |
| 玄関・メーターボックス扉 | 各 75枚 | " | " | 398,000 | |
| ビ ロ テ イ 天 井 | 約 80㎡ | " | 吹 付 塗 装 | 118,000 | |
| テ レ ビ 増 幅 器 | | " | | 400,000 | |
| | | | 小 計 (3) | 1,024,000 | |
| 外 壁 | 約 2,700㎡ | 約 8-10年 | リ シ ン 吹 付 塗 装 | 8,730,000 | 定期的整備が必要 |
| 床及びカラークリット | 約 186㎡ | " | 取 替 補 修 | 280,000 | |
| 外 廊 下 巾 木 V P | 約 373㎡ | " | 塗 装 | 183,000 | |
| エレベーターホールPタイル | 約 152㎡ | " | 張 替 補 修 | 258,000 | |
| ノ ン ス リ ノ ブ 真 鍍 | 約 194㎡ | " | 交 換 | 323,000 | |
| 揚 水 ポ ン プ | 2 台 | " | 交 換 (2台分) | 970,000 | ダイノックフィルム材使用 |
| 外 灯 ケーブル (地中) | | " | | 500,000 | |
| フ ェ ン ス | | " | | 1,710,000 | |
| 浄 化 槽 ポ ン プ | 2 台 | " | | 300,000 | |
| 消 火 栓 ポ ン プ | | " | | 700,000 | |
| 電 気 器 具 | | " | | 440,000 | |
| | | | 小 計 (4) | 14,394,000 | |
| 自 転 車 置 場 | 一 式 | 約 15 年 | 改 築 | 215,000 | |
| エ レ ベ ー タ ー 内 部 | | " | 貼 替 | 215,000 | |
| 高 架 水 槽 | | " | | 1,000,000 | |
| | | | 小 計 (5) | 1,430,000 | |
| 避 雷 針 | 一 式 | 約 20 年 | 交 換 | 323,000 | |
| | | | 小 計 (6) | 323,000 | |
| エ レ ベ ー タ ー | 1 台 | 約 30 年 | 交 換 | 12,936,000 | |
| | | | 小 計 (7) | 12,936,000 | |

20年サイクル (耐用年数別費用予定総額)

| | |
|----------|--------------------------------|
| (1) 2年毎 | 1,984,000 × 10回 = 19,840,000 |
| (2) 3年毎 | 75,000 × 6回 = 450,000 |
| (3) 5年毎 | 1,024,000 × 4回 = 4,096,000 |
| (4) 8年毎 | 14,394,000 × 2.5回 = 35,985,000 |
| (5) 15年毎 | 1,430,000 × 1.3回 = 1,906,000 |
| (6) 20年毎 | 323,000 × 1回 = 323,000 |
| (7) 30年毎 | 12,936,000 × 1.5回 = 19,404,000 |
| 計 | 71,274,000 |

上記は昭和54年3月現在で計上したものです。

計画的に修繕費を積立てるにあたっては長期の見通しを立て物価の変動を勘案して必要金額をプールしておくことが大切です。

積立額で不足する場合は、各共有者からあらためて徴収することになります。

$$\frac{71,274,000}{20 \times 12 \times 74} = 4,013 \text{円} / 1 \text{戸当り・月額}$$

(高層共同住宅管理問題研究会報告書 一昭和54年8月一 参考資料より)

図5. 8 計画修繕費例(試算)(*15)

5. 1. 4 まとめ

これまでの議論を簡単にまとめる。

(1) 維持保全の分野の用語の整理は必要である。とりわけ信頼性、保全性工学等周辺工学分野との整合的な用語の定義が必要である。このことは集合住宅の維持保全問題を扱う上で最も基本的で重要な問題である。

(2) 既存の建築物の維持保全、修繕研究は過去の修繕費支出に着目し、将来を予測しようとした。過去の修繕が最適であった場合、このようにして予測した将来は最適である可能性はあるが、その保証はまったくない。

(3) 計画修繕の基準は経験と達観によることが多く、またそうでない場合も耐久性の基準であって最適性の基準ではない。

(4) その基準によって計画修繕費の概算が算出される。二つの点で問題である。一つは根拠の乏しさ、他の一つは経済的かどうか。従って実態上資金的な問題、主観的な問題から計画どおりに修繕が実施されないことが予想される。

(5) 基準は一般に一定周期で修繕がくり返されることを有利（主として経済的に有利）とする。果たしてそうであろうか。

(6) 計画修繕の方法は単に耐久性のみならず、経営主体の管理水準、居住者の要求水準によって異なる。この点が検討できる方法論を持ち合わせていない。

(7) さらに使用期間が異なったり、代替的な修繕の方法がいくつかある場合にどうすれば最適化できるかを決定する方法も存在しない。

(8) いずれにせよ本節のこれまでの議論は建築物が既に存在し、いかに維持保全するかに力点があった。またその限りでの経済性の議論であった。しかし合理的な維持保全のためには、企画・設計段階の設計仕様の検討時点から、概略であるにせよ修繕計画、方法を考慮した保全性、信頼性設計が実施されるべきである。また経済性の点でも当初の建設費と維持保全費を総合的に考慮したライフサイクルコストリングが必要である。

これ以上の議論は本論文第11章において基本設計プロセスでの維持保全計画の最適化として、建築物の修繕計画の最適化の論理的な方法について論述する。

5. 2 中高層集合住宅の修繕実態

本節でとりあげる中高層集合住宅の修繕実態調査は（財）日本建築センター内に設置された中高層共同住宅技術研究委員会（古川修委員長）が実施し（*11）、著者らが取り

まとめを担当した部分を扱っている。担当部分の調査の目的は次の二点である。（＊１６）

①住戸や住棟の維持保全状況、保全行為の内容、費用、修繕周期の実態を把握し、中高層住宅維持保全の標準を得る。これによって、信頼性、保全性、耐久性に関する設計、施工に有効なチェックリストなどの用具開発の一つのステップとする。

②維持保全にかかわる諸概念の対照、整合化、再定義など用語の整理を行い、社会的、経済的あるいは物理的耐用年限と修繕費用との対応関係を明確にして、耐用年限の設定、ライフサイクルコストリングなど、耐久設計に資する論理の構築を行う。

ここでは前節を受けて計画修繕の実態がどうなっているかに限定して論述する。

５．２．１ 対象プロジェクト及び問題の概要

（１）対象プロジェクトの概要

修繕実態を観察するには技術的、財政的に統一性、継続性が確保されており、一定の管理水準にあると目される経営主体が望ましい。

従ってここでは公営住宅、公社住宅をそれぞれ１、２経営主体選定し、その管理下にある団地の修繕工事内容について分析することとする。団地の選定は管理開始年度、地域、中層・高層、修繕記録の整備状況などを勘案した。公営住宅では１０団地、３２棟、１６８１戸、公社住宅では３２団地、２０５棟、７５９５戸が対象である。（表５．３、５．４）

表５．３ 対象公営住宅の概要

| 建設年度 | 区 分 | 団地数 | 棟 数 | 戸 数 |
|------|-----|-----|-----|------|
| ２ ７ | 中 層 | １ | １ | ４０ |
| ２ ９ | 中 層 | １ | １ | ４４ |
| ３ ８ | 中 層 | ２ | １７ | ５１７ |
| ３ ９ | 高 層 | １ | １ | １７０ |
| ４ ３ | 高 層 | １ | １ | １２６ |
| ４ ４ | 高 層 | １ | ３ | ３９０ |
| ４ ６ | 中 層 | １ | ４ | １９０ |
| ４ ６ | 高 層 | １ | １ | ９９ |
| ４ ７ | 中 層 | １ | ３ | １０５ |
| 合 計 | | １０ | ３２ | １６８１ |

表５．４ 対象公社住宅の概要

| 建設年度 | 区 分 | 団地数 | 棟 数 | 戸 数 |
|------|-----|-----|-----|------|
| ２ ６ | 中 層 | ２ | １０ | ２７２ |
| ３ １ | 中 層 | ４ | １１ | ２６２ |
| ３ １ | 高 層 | １ | １ | ８１ |
| ３ ６ | 中 層 | １ | １０ | ４００ |
| ３ ７ | 中 層 | １ | １ | ７２ |
| ３ ７ | 高 層 | １ | １ | ２８ |
| ３ ８ | 中 層 | ２ | ５ | １２０ |
| ３ ８ | 高 層 | １ | １ | ３０ |
| ４ ０ | 中 層 | ２ | ２５ | ６６７ |
| ４ ０ | 高 層 | １ | １ | ３６ |
| ４ １ | 中 層 | １ | ２４ | １０４２ |
| ４ １ | 高 層 | １ | １ | ４９ |
| ４ ２ | 中 層 | １ | １ | ２０ |
| ４ ２ | 高 層 | １ | １ | ９０ |
| ４ ６ | 中 層 | ３ | ２３ | ７７８ |
| ４ ６ | 高 層 | ２ | ２ | １６４ |
| ４ ７ | 中 層 | １ | ２０ | ８３０ |
| ４ ７ | 高 層 | １ | ３ | ３６０ |
| ４ ８ | 中 層 | １ | ４３ | ８４８ |
| ４ ８ | 高 層 | １ | １ | １８４ |
| ５ ０ | 中 層 | ２ | １２ | ４００ |
| ５ １ | 高 層 | １ | ８ | ８６２ |
| 合 計 | | ３２ | ２０５ | ７５９５ |

実態から収集されるデータは費用の支出年度、住宅の経年が異なる。従ってこれらの差異を統一的に処理する方法が必要である。前者の処理をクロスタイムセクションによる集計で行った。簡単に説明を加えておく。

①. 修繕費の補正係数

継続的に支出された費用を一律の手続きで集計、評価するため修繕費補正係数を定める。この係数は以下のようにして作成する。

a. 住宅公団賃貸住宅修繕実績から、修繕工事の〔労務費：材料費＝68：32〕

（46年度）を導いた。

b. 労務費を「屋外労働者職種別賃金調査」で指数化し、材料費には日銀卸売物価建設材料総合指数をそれぞれ用い、前項の比で合成する。

この指数は、新設の工事指数より速く上昇する傾向を示している。

②. クロスタイムセクションによる集計

住宅の持つ様々な個別性が、大量観察によって平均化でき、修繕の要、不要は、主に住宅の年令に依存して定まると仮定する。そして得られた修繕記録を全て住宅年令順に配列し、この年令別に集計する。この方法をクロスタイムセクションによる集計と呼ぶ。なお修繕データは昭和54年度までが回収された。

（2）問題の概要

公営住宅の場合維持保全費用に占める計画修繕費の割合は昭和54年度で50%、公社住宅では昭和52年度～54年度の平均で59%である。いずれも計画修繕の占める割合は高い。且つこの割合は一般修繕（経常修繕）に比べ経年と共に増加する傾向にある。

しかし計画修繕に周期性はみられず、区々である。且つ修繕時期の計画値から実際の修繕時期は遅れている。この間の事情を住宅・都市整備公団の今仲昭喜（*18）は「この実施計画の策定に当っては経常修繕費用が過去の実績などをもとに先取り経費として予算化され、残る予算の範囲内で計画修繕や改良の実施数量、額が定まる。従って計画修繕については、劣化の程度などの純技術的判断のみで、その計画数量が定まるのではなく、予算面の制約から場合によって一部は次年度以降に計画を延伸せざるを得ないときがある。」と説明している。ましてや計画修繕の基準どおり一定周期で修繕が実施されることはまずないとみてよい。

計画修繕は周期性をみせないが、修繕費支出の多い項目、修繕頻度の高い項目などの重点が存在する。維持保全段階ではこれらの支出、頻度をふまえた重点的、計画的な対応が

要求される。さらに企画・設計段階での体系的な検討が必要である。

5. 2. 2 問題の構造

ここでは計画修繕の実施決定者の観点で問題の分析を行った。問題の構造を図5.9に示す。以下各要素について論述する。

(1) 環境

当該建築物の設計、仕様は計画修繕の前提である。また経年とともに損耗、劣化が進行する実態、現況も計画修繕の前提である。さらに固有の条件、たとえば立地条件、自然環境、施工品質、管理形態、維持保全の要求水準はすべて環境条件となる。

(2) 制約

現実の計画修繕の意思決定には集合住宅の経営主体を拘束する法律、例規、通達、基準に制約される。これらは不可制御要因である。また経営主体の維持保全の予算、財政状況によって意思決定の内容が異なる。今仲昭喜のことばどおりである。この予算枠を決定す

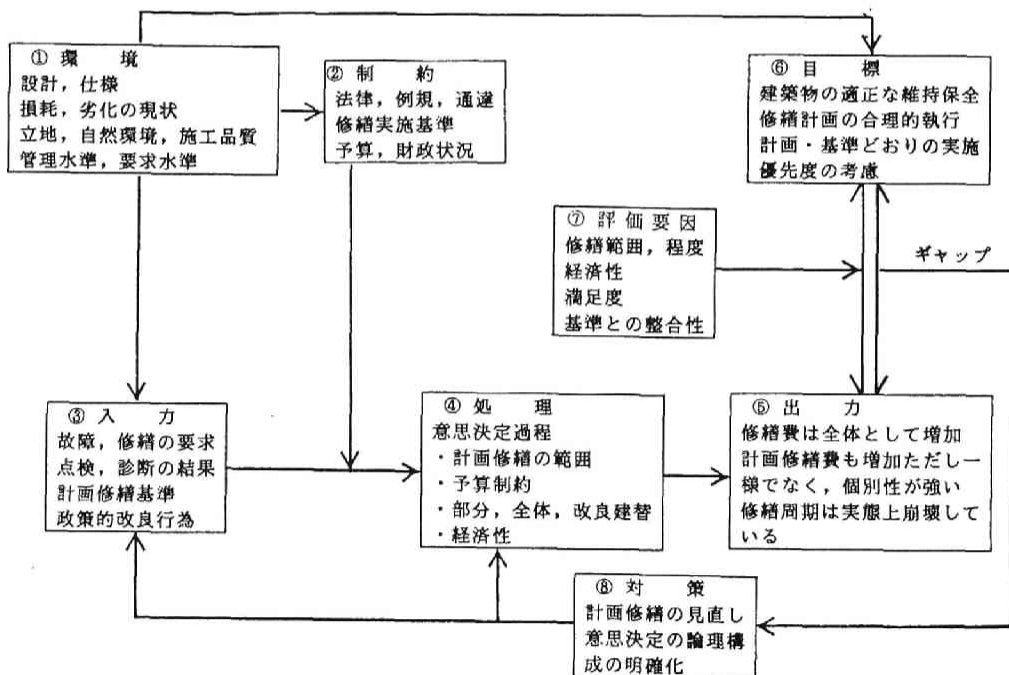


図5.9 問題の構造

ること及び予算枠の中で計画修繕に投下できる予算の割合は限界はあるにせよ意思決定者の裁量範囲であり、制御要因といえる。

(3) 入力

修繕を決定しなければならない状況には四つある。第一、既に故障が起っていたり、修繕の要求が出ている場合、第二に現状の点検、診断から判断する場合、第三は計画修繕基準の修繕周期、取替周期に該当している場合、第四には改良を主とした場合。

(4) 処理

意思決定の過程は経営主体によって若干の差異をみせる。差異の第一点は前節において計画修繕の定義（表5.1）でみたように計画修繕の範囲が異なること。但し定義ではN

表5.5 修繕工種別の戸当り支出金額（公営住宅）

| 工 数 \ 経 年 | 1～5 | 6～10 | 11～15 | 16～20 | 21～25 | 26～28 |
|---------------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 総 計 | 6,807 | 13,848 | 38,724 | 66,450 | 125,158 | 101,883 |
| 建 築 | 715 | 3,299 | 24,992 | 36,851 | 44,207 | 81,847 |
| 屋 上 防 水 | | | 9,548 | 14,795 | | 22,245 |
| 鉄 部 塗 装 | | 758 | 8,490 | 1,091 | | 14,518 |
| 外 壁 塗 装 | | | 2,403 | | 24,817 | |
| 流 し 取 替 | | | | 17,500 | 18,143 | |
| 二 重 窓 設 置 | | | | | | 38,794 |
| BF 釜給排気筒改善 | | | 3,337 | 2,425 | | |
| そ の 他 建 築 | 715 | 2,541 | 1,214 | 1,040 | 1,247 | 9,290 |
| 共 用 設 備 | 5,260 | 8,357 | 6,485 | 28,820 | 77,666 | 14,350 |
| 給 水 管 改 修 | | | | | 27,179 | |
| 給 水 ポンプ改修 | | | 869 | | 6,232 | |
| 衛生設備改修・取替 | | 1,009 | 615 | 10,325 | | |
| 洗 浄 装 置 改 修 | | 1,590 | 146 | | 4,968 | |
| 屋内電気設備改修 | 1,044 | | 934 | 3,586 | 24,217 | 57 |
| 浄化槽動力設備改修 | | | | | 12,777 | |
| テレビ共聴化 | | | | 12,083 | | 13,286 |
| 昇 降 機 改 修 | 3,505 | 1,131 | 404 | | | |
| そ の 他 共 用 設 備 | 711 | 4,627 | 3,517 | 2,826 | 2,293 | 1,007 |
| 構 内 整 備 | 834 | 1,843 | 7,247 | 779 | 3,285 | 2,686 |

注) 計画修繕工事は建築 37種、共用設備 31種、構内整備 18種、その他 2種、計 88種に分けられるが、ここには 28年間の平均支出金額が 1,000/年・戸を超えるもののみを示した。金額は昭和 54年価格評価、単位 円/年・戸

TTを除き計画修繕を信頼性用語にいう定期保全とみなし得るが、実態上は後に例示するすべての経営主体で点検、診断から修繕の意思決定過程が始まっている。これは同用語にいう状態監視保全である。差異の第二点は予算制約と計画修繕の選択の関係。予算制約がまず存在しており、その枠内で計画修繕を検討するかあるいは計画修繕メニューがあってその実施にむけて資金調達を考えるか。前者は公共建築物、賃貸集合住宅に多く、後者は民間分譲集合住宅に多いと目される。差異の第三点は計画修繕の定義にもよるが改良、建替をも検討の範囲にいれるか否か、部分修繕と全体修繕を区別して検討するか否か。第四点は経済性の検討の有無である。これらについて次項でさらに詳述する。

(5) 出力

公営、公社住宅の修繕実態から主として次の三点が明らかとなった。

①修繕費は経年とともに増加する。(表5.5, 5.6)しかし個々の修繕工種、団地

表5.6 修繕工種別の戸当り支出金額(公社住宅)

| 工 数 \ 経 年 | 1～5 | 6～10 | 11～15 | 16～20 | 21～25 | 26～29 |
|-----------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 総 計 | 1,937 | 16,146 | 30,386 | 50,547 | 26,300 | 139,875 |
| 建 築 | 1,005 | 7,559 | 21,954 | 31,068 | 6,383 | 130,486 |
| 屋 上 防 水 | 8 | 8 | 1,638 | 10,531 | 544 | 2,950 |
| 外壁等クラック補修 | 21 | 389 | 808 | | 523 | 20,546 |
| 鉄 部 塗 装 | 699 | 4,652 | 7,711 | 7,204 | 1,718 | 1,784 |
| 外 壁 塗 装 | | 942 | 9,829 | 10,765 | | |
| 窓 枠 改 修 | | | | 605 | | 63,973 |
| 手 摺 改 修 | | | | | | 17,703 |
| 内 装 改 修 | 216 | | | | | 22,861 |
| そ の 他 建 築 | 61 | 1,568 | 1,968 | 1,963 | 3,598 | 669 |
| 共 用 設 備 | 812 | 4,941 | 7,449 | 18,884 | 19,917 | 9,389 |
| 給 水 管 改 修 | 27 | 45 | 1,547 | 8,655 | 5,212 | |
| 受 水 槽 | 53 | | 269 | 3,369 | 6,263 | 3,860 |
| 屋内電気設備改修 | 11 | 272 | 147 | 2,881 | 4,745 | 2,643 |
| その他共用設備 | 721 | 4,624 | 5,486 | 3,979 | 3,697 | 2,886 |
| 構 内 整 備 | 120 | 3,646 | 983 | 595 | 0 | 0 |

注) 計画修繕工事は建築 22種、共用設備 32種、構内整備 13種、その他 1種、計 68種に分けられるが、ここには 29年間の平均支出金額が 1,000/年・戸を超えるもののみを示した。金額は昭和 54年価格評価、単位 円/年・戸。

でみれば個性性が強く、数値はばらつく。

②計画修繕費は54年度公営住宅で総額53億円、維持保全費107億円の49.5%を占める。一方公社住宅の計画修繕費は52年度～54年度平均の戸当り換算で24.6万円、維持保全費全体41.8万円の58.9%である。この割合は住宅年令によって異なり、一般に年令の増加と共に計画修繕の割合が高くなる。公社住宅の例を図5.10に示す。

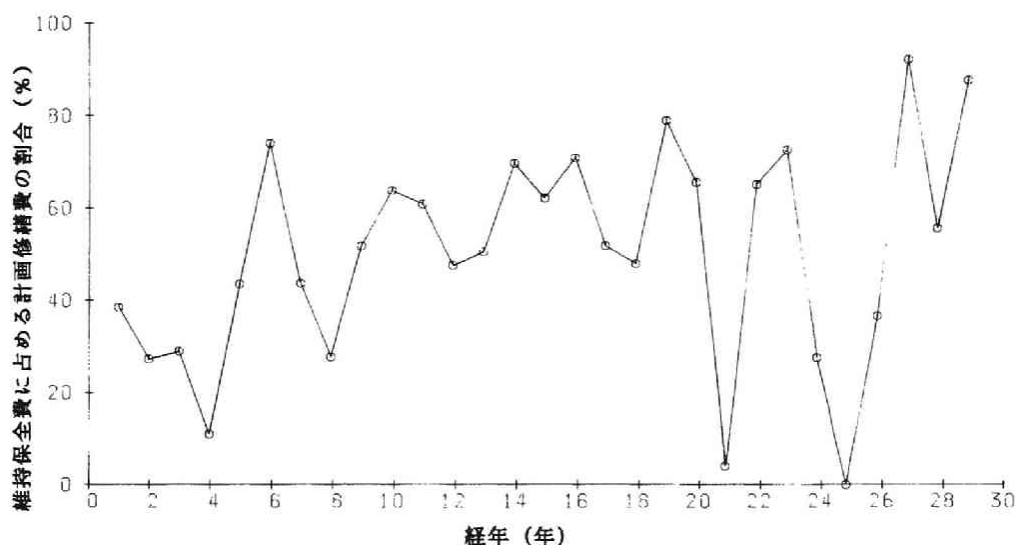


図5.10 経年による計画修繕の動向(公社住宅)

③修繕周期どおりに工事を実施した形跡はなく、かなり遅れて実施されていることが観測され、事後保全的性格が強い。しかし前節でみたとおり修繕周期は予防的性格よりも実態上の修繕限界に近い値で決定されており、この周期が遅れることの影響は少ない。

(6) 目標

計画修繕の究極の目標は建築物の適正な維持保全にある。そのためには修繕計画が合理的に実施されねばならない。合理的とは一つには計画修繕が合理的に作成されているとすれば、その基準どおりに実施することであり、二つには修繕項目間、団地間の優先度を一定の論理構成をもって決定することである。このため劣化の程度、団地の住宅年令、立地条件など種々の用件を勘案し、また団地居住者の修繕要望の程度をも考慮した妥当性のある意思決定が要求される。その構造は図5.11のとおり階層的である。

(7) 評価要因

一般的には美観、室内環境の維持、機能の確保、安全性、防災性があげられるが、具体的な評価要因としては、

- ①修繕で対応できる範囲、程度、
- ②経済性、
- ③満足度、
- ④標準的な修繕周期、修繕率との比較、

がある。

(8) 対策

限られた修繕費支出の中で、事後修繕が優先し計画修繕が修繕周期より遅れ、その結果修繕工事量の平準化、予防保全という機能を十分には発揮していない。修繕周期は修繕予算の計上の根拠であり、修繕の一つの目安にすぎなくなっている。そうだとすれば対策は二つ。一つは修繕周期を物理的、技術的側面から見直し、実態に合致したものにすること。他の一つは修繕の意思決定の論理構成を明確にし、事後修繕に追従したあるいは軽視された状況を改善することである。

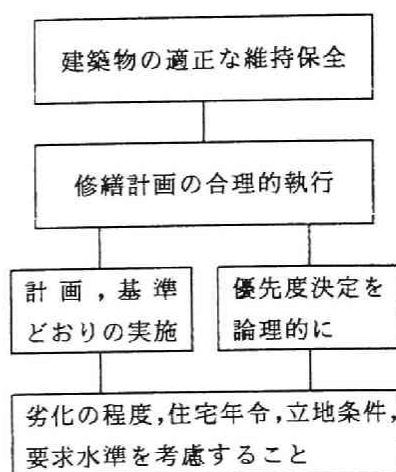


図5.11 目標の階層性

5.2.3 処理過程

ここでは計画修繕の意思決定過程の実態と、公社住宅の修繕実態の分析結果について詳述する。

(1) 計画修繕の意思決定過程

本節の対象プロジェクトである公営住宅、公社住宅についてその意思決定過程を明確にしたものは存在しない。従ってここでは類似の例として住宅・都市整備公団（＊18）、建設省（＊19）、NTT（＊20）をとりあげ、一方民間分譲集合住宅用としては建設省総プロ（建築物の耐久性向上技術の開発、昭和59年度）で提案されたもの（＊21）を採用する。それぞれのフローチャートを図5.12～5.15に示す。集合住宅用である公団及び総プロ開発の二つについて資料から要約する。

①住宅・都市整備公団

公団では各年度の修繕費予算に基づく修繕計画の年度計画と10ヶ年程度の中・長期

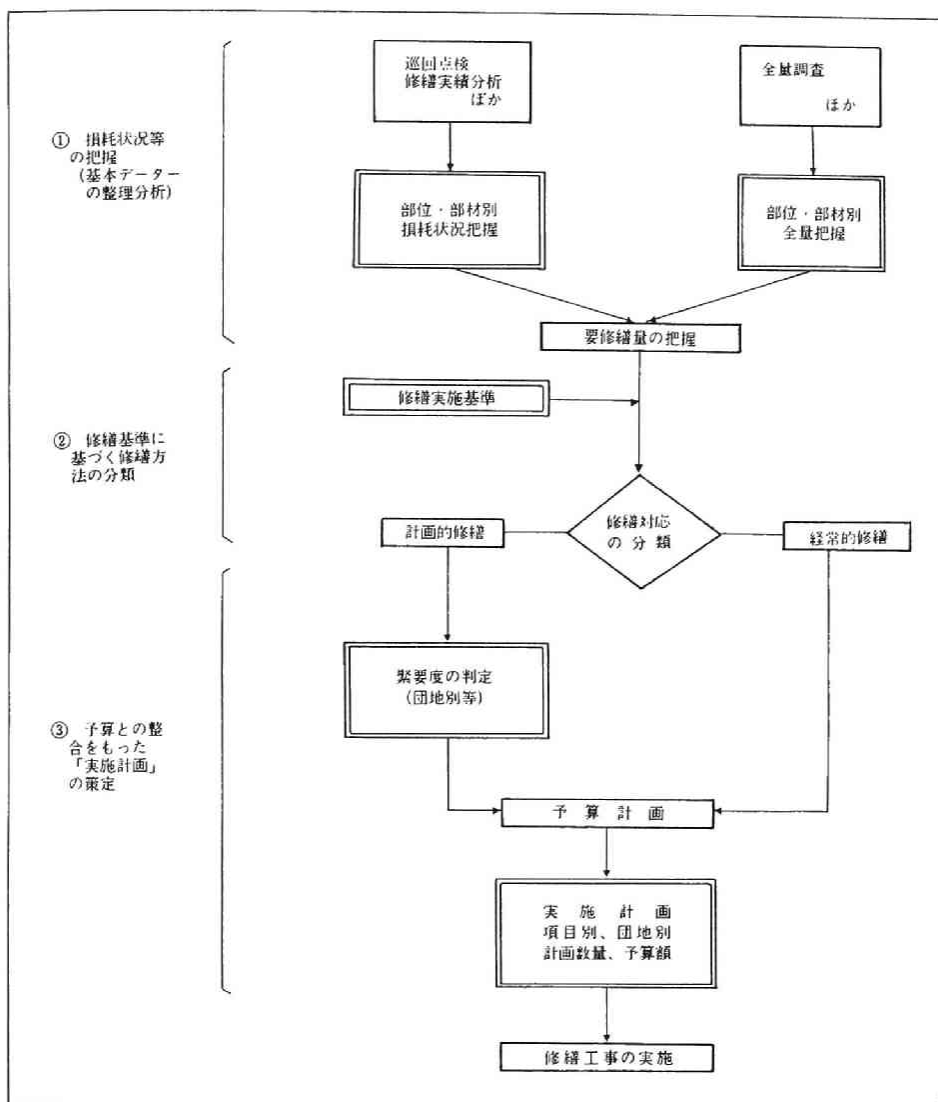
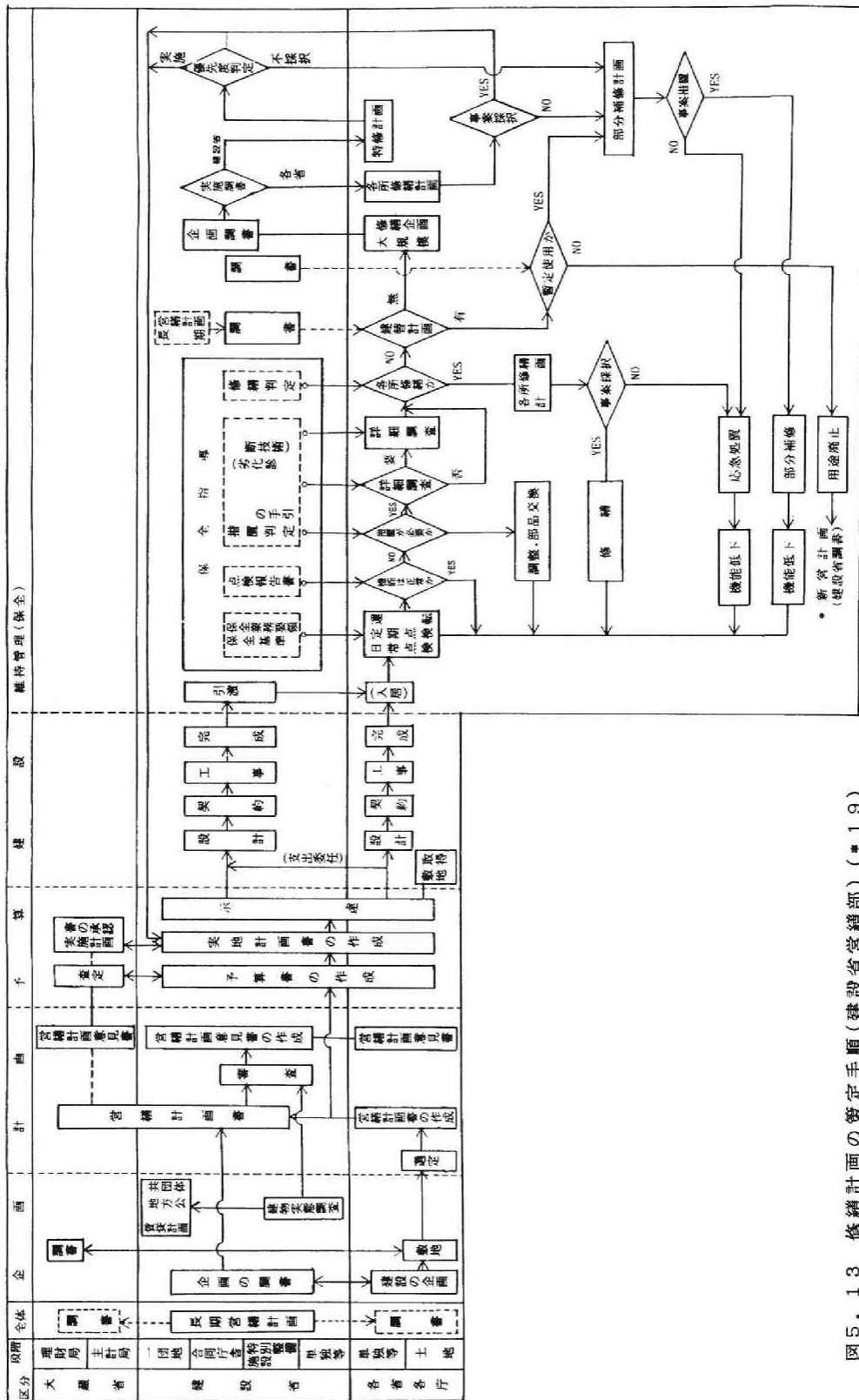


図5.12 修繕計画の策定手順(公団住宅)(※18)

計画を策定している。ここでは単一年度の修繕計画の策定手順について記す。

策定手順は図5.12に示すように大きく三段階に分かれる。第一段階は巡回点検などによる劣化状況およびこれに基づく必要修繕量の把握。第二段階は修繕基準に基づく修繕方法などの仕分け（経常修繕か、計画修繕か）。第三段階では予算と整合された実施計画の策定。

修繕基準は修繕を要する程度、修繕周期及び修繕方法が規定されており、計画修繕は



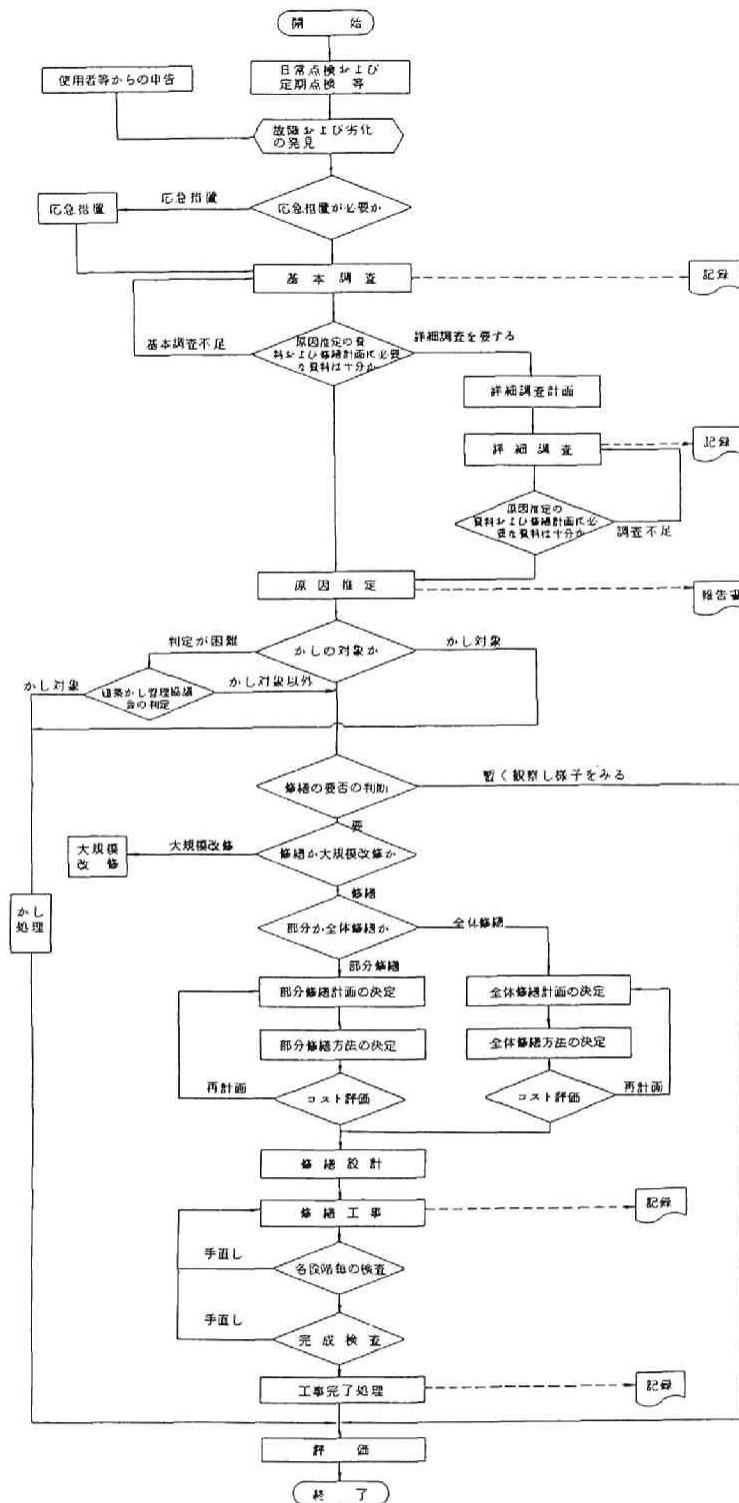


図5.14 修繕の技術的判断手順(NTT, *20)

外壁塗装、屋根防水層取替、手摺等塗装、給・排水管取替を中心に20数項目ある。但し修繕周期はあくまでも目安であり、必ずしもこのとおり実施されるとは限らない。しかしこのことは前節表5.1の公団の計画修繕の定義に反しており、いずれかに統一される必要がある。

実施計画の策定に際しては本節第1項で述べたようにまず経常修繕費用が過去の実績から先取的に予算化される。残る予算の範囲内で計画修繕、改良の実施数量が決定される。従って計画修繕は技術的判断のみに依存して決定されるものではなく、一部は予算上遅延される可能性が強い。修繕時期、周期の経済性が検討されることはない。

②総プロ開発(図5.15)

まず計画修繕を次のように説明している(必ずしも定義とはしていない)。

「a. 建物の維持保全は、日常的修繕の積み重ねだけでは不十分であり一斉に行う修繕、あるいは改良が必要となる。この一斉修繕は、一定の時期を予定して、計画的に行いそのための費用、管理組合の体制、施工技術の適用の面で準備を行うことが必要である。

b. そのために長期にわたる一斉修

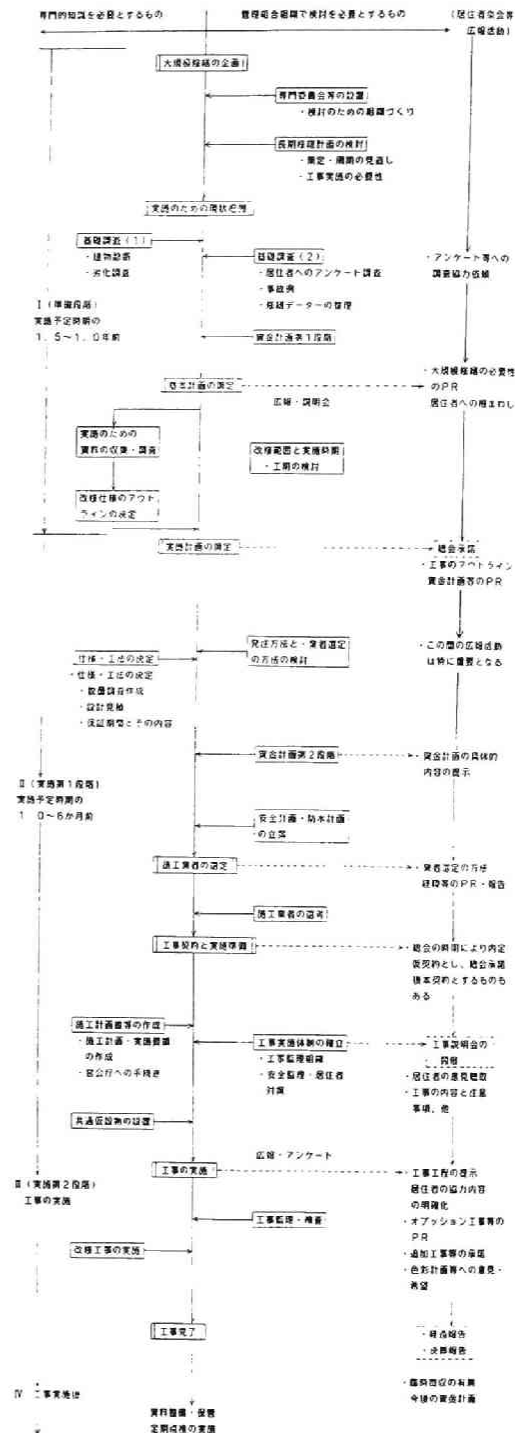


図5.15 大規模修繕計画の進め方(総プロ, *21)

繕のための計画を作成しておくが必要になる。これを長期修繕計画と呼び、先に示した体系の計画修繕部分をその対象とする。

- c. 計画修繕は、大きく分けて、大規模計画修繕と小規模計画修繕がある。前者は長い年数の間におこる比較的高額の経費を必要とするものであり、後者は金額は少ないが、計画的に実施が求められるものである。」

ここでは大規模修繕計画について記す。

大規模修繕計画・工事は四段階に大別できる。第一段階は準備のための組織づくり、長期修繕計画の内容・工事の必要性の検討、実施のための現状把握、基本計画の検討、資金計画のための積立金の検討。第二段階は実施のための具体化、施工業者選定方法の検討、居住者の安全対策の検討、資金計画の具体化、施工業者の選定と契約、工事施工のための体制の確立。第三段階では工事の実施（外壁塗装・屋根防水・給排水管の改修）、工事の監理、検査項目と実施。第四段階では資料の整理・保管、保証内容と期間の明確化、定期点検の実施とアフターケア。

計画の出発は周期表より修繕時期を知って検討を開始する場合と劣化、故障により検討に入る場合の二とおりがある。前者の場合でも周期表はあくまでも目安であり、集合住宅の固有の条件、たとえば立地条件、管理形態、要求水準により異なるとする。

個別の分譲集合住宅の場合、修繕費用の資金の調達計画は重要である。前述の公団住宅が一定の予算枠の中で当該年度の計画的修繕を検討するのに対して、分譲住宅の場合、修繕費積立金の有無にかかわらず、修繕計画がまず立案され、その実施のための資金計画が作成される点で公団のそれと異なる。

（２）修繕実態の分析

公社住宅の計画修繕の実態について詳しくみる。

①計画修繕の工種別修繕費

計画修繕を工種別に細かく検討する。建築関係で実際に修繕工事が実施されたものは、保全業務実施要領から予め設定した22項目中13項目である。このうち流し取替、窓枠改修、結露防止等改良の性格の強いものを除くと7項目になる。特に窓枠改修、手摺改修は20年以降に行われており、取替工事と推察される。その費用も大きなウエイトを占めている。これら改良の性格のものを除くと建築関係修繕工種は塗装、防水、内装関係に限定できる。屋上防水は10年まではほとんど修繕費が発生しておらず、外壁防水は相対的に初期から発生している。塗装工事はかなりの頻度で実施されており、建築

表5. 7 年令別修繕工事発生団地数

| 年 令 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 計 | |
|-------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 工 種 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 屋 上 防 水 | | | | 1 | | | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | | | | | 1 | 1 | | | | | | 1 | | 14 | |
| 外 壁 防 水 | | | | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 3 | 2 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 33 |
| クラック補修 | | | | | 2 | | 2 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | | 1 | 1 | 1 | 13 |
| 鉄 部 塗 装 | | | | | 4 | 6 | 2 | | 1 | 3 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | | | | | 1 | | | | | 1 | | 32 |
| 外 壁 塗 装 | | | | | | | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | 11 |
| 流 し 取 替 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | 1 | | 2 | |
| 窓 枠 改 修 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | 1 | | | 2 | |
| 給 水 管 改 修 | | | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | 14 |
| 給 水 設 備 改 修 | | | | | | | | 2 | 2 | 1 | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | 7 |
| 給水ポンプ等改修 | | 1 | 1 | 2 | 2 | 4 | 5 | 3 | 3 | 1 | 5 | 2 | 2 | | 2 | | 2 | | | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | | 1 | 1 | 1 | 2 | 47 | |
| 消 防 設 備 改 修 | | | | 1 | 1 | 2 | | | 1 | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 7 |
| 汚 水 ポンプ改修 | | | | | | 2 | | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | 5 |
| 排水、污水管改修 | | | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | | 1 | 1 | | 2 | 2 | | | | | | | | 39 |
| 浄 化 槽 改 修 | | | | 3 | 2 | 3 | | 4 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | 22 |
| 受 水 槽 改 修 | | | | 1 | | | | | | | 1 | | | | | | | 1 | | | | 1 | 1 | | | | 1 | | | | 6 |
| 屋内電気設備改修 | | | | | 2 | 3 | | | 1 | 1 | 2 | 3 | | | 2 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | 3 | | | | | 1 | 1 | | 23 |
| 給排水動力設備改修 | | | | | | | 1 | | | 2 | | 1 | | | | | | | | | | 1 | 2 | | | | | | | | 7 |
| テレビ共聴設備改修 | | 1 | 3 | | | 1 | 4 | | 4 | 1 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | 16 |
| 合 計 | | 0 | 2 | 6 | 12 | 16 | 27 | 23 | 19 | 21 | 16 | 24 | 17 | 12 | 11 | 14 | 8 | 8 | 5 | 6 | 3 | 21 | 24 | 4 | 0 | 1 | 5 | 4 | 8 | | 300 |
| 各年令の団地総数 | | 9 | 14 | 16 | 16 | 16 | 15 | 15 | 11 | 8 | 10 | 11 | 11 | 9 | 9 | 8 | 6 | 5 | 4 | 3 | 3 | 6 | 6 | 4 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | | 238 |

注) □ 及び □ はA、B公社の修繕周期該当年を示す。

関係修繕費に占める割合も

20年までは50%を超え

ている。内装改修関係は対

象32団地29年間で(延

238団地)5団地しか発

生していない。共用設備関

係ではその修繕費に占める

給排水衛生関係修繕費が6

年目以降60~86%と高

い。つづいて電気設備の割

合が高い。中でも給水管改修は11年目以降その修繕費が急増する。

②工種修繕頻度と修繕周期

次に修繕頻度について検討する。主要な工種の年令別修繕工事発生団地数を表5. 7

に示す。さらに保全業務実施要領の修繕周期表より当該工種の修繕周期を抜き出しハッ

表5. 8 計画修繕費支出の始まる年一覧表(*11)

| 団地番号 | 経 年 | 修繕出始めの年 | 部 位 等 |
|------|-----|---------|--------------|
| 1 | 30 | 19年目 | 給排水管改修, 外装改修 |
| 17 | 30 | 10 | 鉄部塗装 |
| 2 | 25 | 12 | 揚水ポンプ改修 |
| 18 | 24 | 5 | 汚水ポンプ改修 |
| 3 | 20 | 8 | 揚汚水ポンプ改修 |
| 19 | 19 | 6 | 消火栓設備改修 |
| 20 | 16 | 5 | 鉄部塗装, 防水 |
| 4 | 14 | 11 | 揚水ポンプ改修 |
| 21 | 10 | 4 | 污水处理場改修, 防水 |
| 6 | 9 | 6 | 污水处理場改修 |
| 7 | 5 | 2 | 道路(歩道)舗装 |
| 22 | 5 | 2 | 揚水ポンプ改修 |

チングで示す。同表より次のことがわかる。a. 計画修繕費が初めて支出される年は計画修繕の周期と一致する筈であるが実態はそうはなっていない。この点は表5. 8がより詳しい。b. 修繕実施時期は全体としてかなり平準化しており、修繕周期経過年数毎に発生団地数が顕著に増加はしていない。c. 各年令の団地総数からみて修繕工事が実施されていない団地が多数を占める。

5. 2. 4 まとめ

公営住宅、公社住宅の修繕実態及び計画修繕基準の作成、実施の分析から次の結論を得た。

(1) 修繕費支出の範囲に様々なカテゴリーが含まれている。供給主体によって管理費、共役費との区分が異なる。

(2) 計画修繕は修繕実態上ほぼ崩壊し、事後修繕中心になっている。修繕周期は予算計上の根拠であり、修繕の一つの目安程度の意味しかない。計画修繕を初期性能を保ち、他の部位、部分の劣化を防ぐためのものとするならば、修繕周期を厳守するか、あるいはその見直しをはかるかについて技術面からの早急な検討を要する。

(3) 修繕費支出の水準には供給主体間の格差がある。今回の分析対象で52～54年平均戸当たり年間修繕費支出は公営で4. 1万円、公社賃貸で3. 7万円となっている。これらは管理主体の性格の差、つまりそれぞれの修繕費支出可能性、支出範囲、カテゴリーの差の反映である。

(4) 修繕費支出の経年的な推移は一応28、29年位までは増加傾向を示す。但し単調に増加はせず、また明確な周期性を示すものでもない。

(5) 修繕には修繕費支出が大きいもの、発生頻度が高いものという意味での重点が存在する。本調査の場合支出の大きいものは外壁塗装、鉄部塗装、窓枠改修、給水設備改修である。また故障発生頻度の高いものは、給排水設備の中の給水ポンプ、排水管、外壁防水、鉄部塗装、浄化槽、屋内電気で設備関係に多い。これらの支出、頻度に応じた重点的、計画的な対応が必要である。

(6) 実態資料は本調査でも修繕工種別に分析したとはいえ、そのベースは団地単位の修繕費であり、工事場所、数量は不明である。従ってこれ以上の分析ができない。一方理論的にも諸概念の整理がまだ不十分で、実態資料の分析を理論的枠組みを通して行える段階に至っていない。維持保全のデータ収集、整理などの資料管理体制の整備と周辺工学の利

用で諸概念を整理し、理論的、少なくとも整合的な枠組みを築くことが必要である。

(7) 修繕計画の意思決定は技術的な検討と予算枠あるいは資金調達能力によって行われている。いま修繕するのが有利なのか、先送りした方がかえって有利なのか、どの程度修繕すれば経済的か。これら経済的な修繕周期、修繕率はまったく考慮されておらず、その方法論に欠ける。

(8) 集合住宅竣工後、あるいは居住開始後修繕計画を初めて作成した場合、仮にその後の修繕が最善であったとしても、初期の建設費も含めたライフサイクルコストの観点で最善であるとは限らない。従って基本設計プロセスで設計、仕様を決定する際に、各種の代替案をライフサイクルコストの観点で評価し、最適なものを選択しなければならない。

(9) そのためには設計、仕様の決定時に概略にせよ維持保全計画、端的には修繕計画が論理的に立案でき、その経済性評価ができるシステム、計量化手法の確立が必要である。

(10) そのシステム、計量化手法には本節の分析で明らかなように、次の要因が含まれていなければならない。

- ① ライフサイクルコストで評価できること。
- ② 経営主体、管理主体によって管理水準、要求水準が異なることが考慮できること。
- ③ 物理的な耐用年数と建物の使用期間の違いが考察できること。
- ④ 計画修繕、事後修繕等各種の修繕方法が検討できること。
- ⑤ 修繕の時期、方法によって修復する度合が異なることを考慮できること。

これらの理論的展開は第11章にて行うこととする。

参 考 文 献

- * 1) 日本規格協会編：JISハンドブック（1984年版）品質管理，p.55~62，日本規格協会，1984.4
- * 2) 塩見弘：信頼性・保全性の考え方と進め方，技術評論社，1980

- * 3) 建設大臣官房官庁営繕部：建築物保全業務要領，pp.19，建築保全センター，1982.10
- * 4) 海野英晴：建築保全の基礎概念について，建築保全 No.11，pp.12～16，建築保全センター，1981.3
- * 5) 東京都：営繕工事実施基準，1980.4
- * 6) 東京都：環境整備基本方針，1980.4
- * 7) 東京都：環境整備実施基準，1980.4
- * 8) 東京都住宅供給公社管理部：東京都住宅供給公社営繕工事実施基準，1978.11
- * 9) 神奈川県住宅供給公社：保全業務要領，1978.7
- * 10) 高野隆：維持管理基準，新建築学大系49 維持管理，pp.139～219，彰国社，1983.7
- * 11) 日本住宅総合センター，日本建築センター：中高層共同住宅管理問題に関する調査研究，日本住宅総合センター，1981.2
- * 12) 建設省建築研究所：保全・耐久性向上技術の評価手法の開発，建設省建築研究所，1985.3
- * 13) 石塚義高：第一報 標準建築修繕費算出方法（標準建築修繕費算出に関する研究），日本建築学会論文報告集 第335号，pp.105～110，1984.1
- * 14) 飯塚裕：建物の維持管理，鹿島出版会，1979.11
- * 15) 日本高層住宅協会：高層住宅の住まい方，1980.4
- * 16) 須田，古川他：公営住宅の修繕実態調査，中高層共同住宅の修繕に関する研究1，日本建築学会大会学術講演梗概集，日本建築学会，1981.9
- * 17) 古阪，古川他：公社住宅の修繕実態調査，中高層共同住宅の修繕に関する研究2，日本建築学会大会学術講演梗概集，日本建築学会，1981.9
- * 18) 今仲昭喜：公団住宅の維持保全，リフォーム No.6，テツアドー出版部，1984.10
- * 19) 河合慶盛：公共建築物保全に関する国の考え方，昭和59年度西宮市建築技術職員研修資料，西宮市職員研修所，1984.12
- * 20) 日本電信電話公社建築局：建物等修繕の手引，日本電信電話公社，1983
- * 21) （総プロ）建築物の耐久性向上技術の開発，昭和59年度 第2回評価手法研究部会資料，国土開発技術研究センター，1985.3

第6章 結論

6.1 決定問題の実態

企画・設計段階、施工段階、維持保全段階の各決定問題を、基本設計プロセスでの『後続プロセスの計画情報の先取り』の実態としてまとめる。

(1) 企画・設計段階の決定問題

基本設計プロセスでの物的設計、価格、生産システムの整合性が典型的に表われる例として設計施工競技方式を取りあげたが、現実には物的設計と価格、物的設計と生産システムが個々独立に決定されている。この背景として物的設計と工事費を勘案しながら各種の代替案の検討を行う工事費概算システムが欠如していたこと、施工計画内部の矛盾をチェックし、論理的に施工計画が立案できる方法が不足していたことが指摘できる。このプロジェクトの実施設計プロセスでは二つの整合性の確保が必要である。その一つは物的設計、価格、生産システム相互の整合性、二つは基本設計から実施設計へと詳細化、現実化される中での整合性である。実態は基本設計プロセスの不整合をそのまま引きついだものとなっている。

一方、一般の設計施工方式における基本設計プロセスでの施工計画情報の利用の現実、継続的プロジェクトに一定程度みることができる。つまり組織的にも、人格的にも先行プロジェクトの施工チームと同一の主体が基本設計プロセスから参画していたため、基本設計と併行して施工計画が実施された。反面設計のコストバランスは通常の設計と施工が分離したプロジェクトと比較して、仕上、設備面にウェイトが高く、必ずしも適正なコストバランスとはいえない。基本設計プロセスからコストバランスを考慮した工事費計画の支援システムが必要である。

以上のように設計と施工が組織的に同一のプロジェクトにおいても物的設計、価格、生産システムの整合性の検討は十分ではなく、物的設計を支援するこれら計画システムの構築が必要である。

(2) 施工段階の決定問題

施工段階の決定問題の実態として扱っているが、プロジェクト全体の整合的最適化のためには基本設計プロセスで検討、決定されるべき問題が多い。

建設工期の決定は設計施工競技、且つ一貫方式においても発注者イニシアティブが強く、施工段階以降の施工計画情報、経済ペースを加味した最適工期が設定されることは少ない。

また発注者・受注者双方の合意で設定した契約工期内の工程計画は満足解であって、必ずしも最適解ではない。このようにして決定された工程計画の枠組の中で建築部品の生産、供給問題が検討される。工場生産をもコントロール下においたプロジェクトにおいてそうである。工場生産側に与えられた生産期間を前提に生産計画を立案する。端的に言って基本設計プロセスで部品の生産、供給が考慮されることはまずない。しかしプロジェクト全体の整合的最適化のためには全体工程計画を技術的に支え、経済性を獲得するための主要部品の生産、供給問題が工期の検討と併行して立案される必要がある。P C a 板サイト工場を例に全体工程との同調性、在庫量の多寡と工場撤去時期による経済性の検討をいくつかのパラメータの下で行った。

次に個別、具体的な施工計画の例として内装プレハブ工事の工数計画問題を取りあげ、新規性の強い工事では工期、工事費の決定に影響を及ぼすこと、基本設計プロセスでの設計、仕様決定時に概略にせよ工数計画が必要であることを明らかにしている。しかし現在のところ施工計画プロセスにおいても工数計画は論理的でなく、新規性の強い工事では甘い計画数量を採用し、実際の工数は相当程度低減している。この実態は表面上問題を形成していないが、目標を設定しなおい設定型問題としなければならないことを指摘した。次の施工体制決定問題は原則として基本設計プロセスでの決定が困難な問題であるが、目標が明確に設定できない問題の例として取りあげ、ソフトシステムズアプローチの適用の可能性を指摘した。

さらに施工段階で設計が問題となるのは設計変更の形で表われるとし、設計変更処理問題の実態について設計施工一貫方式を例に明らかにしている。設計変更の内容は受注者事由が大半で一面では設計施工一貫の有利さが表われているが、反面施工上、検討不足を理由にした内容が多い点で基本設計プロセスでの後工程情報の先取りが必ずしも十分でなかったことを明らかにしている。

以上施工段階の決定問題は考慮すべき要因が多く、必要な情報と代替案を網羅することが困難で、経験と達観に依存した決定が多い。従って決定過程の論理化が必要であること、施工段階の決定問題には本来基本設計プロセスから概略を計画すべきことが多く、決定過程の論理化によって基本設計プロセスでの計画システムを構築することが必要である。

(3) 維持保全段階の決定問題

現在のところ維持保全計画を基本設計プロセスで検討しているところはまれである。そのためプロジェクトが竣工し、維持保全が現実的に問題となる段階での決定問題を扱って

いる。

維持保全段階で計画される修繕計画の基準は経験と達観に依存しており、計画修繕の実態は計画どおりに実施されていないことを明らかにしている。計画修繕の方法は建築物の使用年数、経営主体の管理水準、居住者の要求水準によって異なり、これらを基本設計プロセスにおいて設計、仕様の決定時に概略考慮した維持保全計画、端的には修繕計画、が論理的に立案でき、経済性の検討、代替案との比較が可能な計画システムが必要である。

6.2 決定問題の整理

決定問題の実態の分析を三つの観点から整理する。

- ①局所的な問題の性格、論理（問題の性格）
- ②各種の計画要素の相互連関（相互連関性）
- ③建築生産プロセスの中での位置づけ（階層性と独自性）

（1）問題の性格

実際の集合住宅プロジェクトではいわゆる発生型問題が問題としてとりあげられることが多い。本編でとりあげた問題はプロジェクトの実施上発生型問題として表面化したものではなく、プロジェクトの整合的最適化の観点で現状を改良する必要がある問題である。それらにはもちろん顕在型の問題もあるが、潜在型の問題、目標が定まらないもしくは代用指標が見出せない問題が多い。これらの甘い目標は問題を潜在化させ、決定過程が論理的でない場合、満足化された段階で最適化の検討は打ち切られる。設定型問題として再度とりあげられることはまずない。一方厳しい目標は問題を顕在化させる。

従って決定過程の論理を明確にし、合理的な決定方法を確立する必要がある。

（2）相互連関性

本論文で扱った決定問題には重要な部分として、物的設計を支援するための工事費概算（工事費計画）、つくり方の最適化（施工計画）、保全の最適化（維持保全計画）がある。決定問題の実態はそれぞれを分析的、個別に最適化、少なくとも満足化しようとしている。しかしプロジェクトの最適

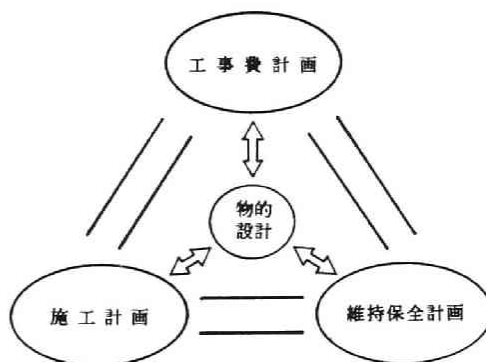


図6.1 プロジェクト最適化の相互連関性

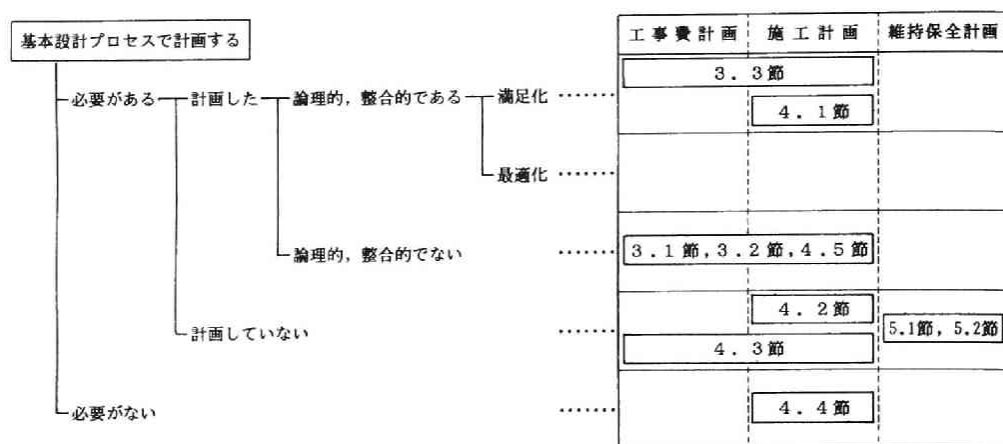


図 6. 2 各段階での決定問題の実態の位置づけ

化のためには工事費計画、施工計画、維持保全計画の相互関係が把握され、統合されて物的設計を支援しなければならない。（図 6. 1）

（3）決定問題の階層性と独自性

決定問題は企画、基本設計プロセスから維持保全プロセスに至る各プロセスに存在する。このうちには基本設計プロセスから前後のプロセスと強い関連性があり、順次詳細化される問題と独自性の強い問題がある。端的には基本設計プロセスから計画する必要がある問題と計画する必要がない問題の二つがある。

決定問題の実態は計画の必要があったにもかかわらず計画せず、後続プロセスで問題となったもの（注 1）と、計画する必要があって、且つ計画したが、論理性、整合性の点で問題となったものがある。（図 6. 2）

6. 3 最適化に必要な条件

（1）論理化

意思決定過程には論理的な部分と論理的でない部分がある。さらに論理的な部分はルール化、プログラム化される部分とそうでない部分が存在する。（図 6. 3）

ここで決定過程の三つの階層、論理化、ルール化、プログラム化を通観しておく必要がある。一般には決

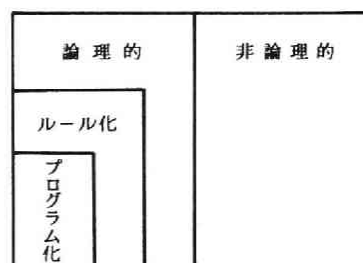


図 6. 3 決定過程の分類

（注 1）ここでいう「問題となった」は発生型問題として障害、支障となったことを意味するのではなく、設定型問題としてとりあげたことを意味する。

定過程は経験に依存している面が多い。しかしそこには何らかの思考過程が存在しており、その思考の法則的なつながりを明らかにすることが論理化である。法則とは「我々と我々のそこにある物とを支配し・・・認識の対象としての法則は物と物、物と人、人と人との相互関係および物と物の作用との相互関係を規定する」（＊１，注１）ところのもので端的には一定の条件のもとに成立する普遍的、必然的關係（＊３）をいう。論理化の中で普遍的、必然的關係のつながりに一定の判断基準、評価基準を採用して手順化することをルール化といい、ルール化の中で可能な部分を計量化、数量化し、その関係を数式モデルとして表現することをプログラム化という。プログラム化は性格上部分的、限定的にならざるを得ず、ルール化はプログラム化を包摂している。論理化はルール化を包摂しており相対的に広範な部分を対象にすることができる。つ

まりプログラム化された部分とプログラム化された部分を論理的に結びつけるとルール化された部分となり、その部分同志、もしくはプログラム化された部分とルール化された部分を論理的に結合すると論理化された部分となる。ところで１．３節で最適化の方法に三つのレベルがあるとした。それは経験主義的決定から論理的決定に移行させる部分の領域の範囲を主として問題としている。

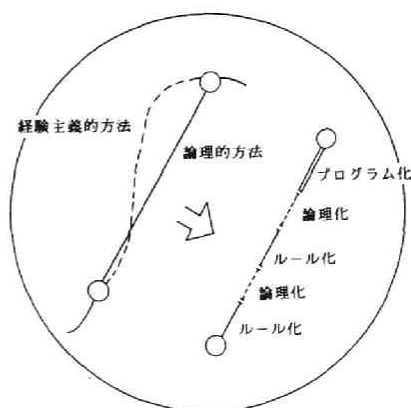


図6.4 論理的方法の階層性

ここでいう三つの階層はその論理的決定の中に階層性が存在することを指摘したものである。（図6.4）

（２）最適化に必要な機能

プロセス全体のフィードバック機能は必要である。ただし現在のフィードバック機能は結果のフィードバックであり、建築生産プロセスが相当程度進んだ段階で機能が発揮されることが多く、タイミングの点で問題なしとしない。また当該プロジェクトに入るフィードバックは他のプロジェクト、一般化された情報が多く、内容の点でもいささか疑問が残る。

従って当該プロジェクトの先取り体験、つまり基本設計プロセスで工事費計画、施工計画、維持保全計画の概略をたて、先行的分析を行なってその情報を当該プロジェクトの物的設計に利用することができる機能が必要である。しかも建築生産プロセスの初期になれ

（注１） 下線部は筆者がつけ加えた。

ばなるほど情報（フィードバック情報も含まれる）は概略で不確実性が介在する。従ってこのような段階から徐々に工事費計画、施工計画、維持保全計画を具体化するシステムづくりが必要である。こうすることによってプロジェクトの戦術ばかりでなく、戦略をかえることの検討も可能となる。ただし戦術、戦略は目標のおき方によってかわる。クラウゼヴィッツは『戦争論』（＊４）の中で「・・・即ち第一は、個々の戦闘を按排し指導する活動であり、また第二は戦争の目的を達成するためにこれらの戦闘を互いに結びつける（組み合わせる）活動である。そして前者は戦術と呼ばれ、後者は戦略と名づけられるのである。」そして「現実の世界においては、物と物との区別は常に多くの中間的段階によって次第に推移するものだからである。それだから強いて観点を変更しなくても、同一の軍事的行動が戦術とも戦略とも見なされ得るような場合が生じるのである。」としている。たとえばあるプロジェクトの計画目標が5000戸の住宅供給であるとすれば、それを超高層でやるか、高層でやるかは戦略であり、その資源配分を考えることは戦術である。また賃貸でやるか、分譲でやるかが戦略で超高層か高層かは戦術であるとも考えることができる。

必要な機能の第2は工事費計画、施工計画、維持保全計画を中心とする主要な部分計画システムを統合的に統合する機能である。各部分計画が第1の機能で順次最適化されとしても、それはあくまでも部分最適化であって、必ずしも全体としての最適化ではない。従って建築生産プロセスの初期段階から各計画が詳細化されることと併行して、それらを統合して全体の最適化を検討し得る機能が必要である。

（３）満足化原理から最適化原理へ

実際のプロジェクトでは発生型の問題が多く、設定型は少ないこと、発生型問題とはあらかじめ設定された目標と現状のギャップであることは既に述べた。発生型の場合現状が目標に達しないか、目標から現状が逸脱しない限り問題とはならない。目標は往往にして基準であったり、目安でしかないことがある。基準とは法律、規則の規制、工期など。目安とは配分された工種別工事費など。しかしそれら規制、制約を満たしておればそれでよく、それ以上のことは特にしない。端的には満足化はするが、最適化はしない。仮に最適化しようにも検討すべき諸要素と諸関係が多すぎ、最適化の方法を持ち合わせていない。たとえば4.1節の揚重用クレーンの配置決定問題の実施計画に至る過程は比較的論理的ではあるが、最適化への指向はなく、実行可能解が求まった段階で（満足化）その検討を打切っている。

これら部分の満足化問題を最適化問題として検討するためのルール化、プログラム化が

必要であり、さらに本論文でいう現状改良型の方法研究はプロジェクトの最適化の点で急務といえる。

6.4 まとめ

結局プロジェクトの最適化のためには建築生産プロセスをシステム的にとらえ、プロジェクトの初期、つまりは基本設計プロセスで後続プロセスの先行的分析を行うことによって戦略と概略の戦術を多段階的に計画することが必要である。そのための必要条件は二つ。一つは先行的分析を可能とし、情報をつくり出すことのできる計画システムの構築、具体的には工事費計画、施工計画、維持保全計画の概略計画システム。二つは一般情報、組織内情報、概略計画システムによって算出した情報等を整合的に利用するシステムの構築である。

参 考 文 献

- * 1) 篠田英雄訳, クラウゼヴィッツ著: 戦争論上, pp.191, 岩波文庫, 1984.12
- * 2) 横山保: 意思決定の科学, pp.9~10, 中央経済社, 1972.7
- * 3) 新村出編: 広辞苑 第二版, 岩波書店, 1972
- * 4) 前出 1) pp.140~186

第Ⅱ編 基本設計プロセスでの集合住宅プロジェクトの最適化

第7章 基本設計プロセスでの集合住宅プロジェクトの最適化方法

第8章 基本設計プロセスでの集合住宅設計の工事費計画の最適化

第9章 基本設計プロセスでの超高層集合住宅プロジェクトの施工計画の最適化

第10章 基本設計プロセスでの大規模団地建設プロジェクトの施工計画の最適化

第11章 基本設計プロセスでの維持保全計画の最適化

第Ⅱ編 基本設計プロセスでの集合住宅プロジェクトの最適化

第Ⅰ編では集合住宅プロジェクトにおける決定問題の実態について論述し、基本設計プロセスにおいて概略にせよ検討すべき計画、問題は多いが、実態は十分には検討していないこと、また決定の多くは勘、経験依存型で、決定に至る過程は論理性に欠け、満足化に止まっており、結果的に必ずしも最適化になっていないことを明らかにした。そしてプロジェクトの最適化には決定過程の論理化、ルール化、プログラム化が必要であること、物的設計を支える工事費計画、施工計画、維持保全計画の検討が基本設計プロセスで必要なこと、全体と部分の位置づけを明確にしなければならないこと、フィードバックの情報と共に当該プロジェクトの先取的分析情報が利用できる情報システムが必要なことを指摘した。

第Ⅱ編ではそれらをふまえて基本設計プロセスでの集合住宅プロジェクトの最適化方法について論述する。基本設計プロセスに限定する理由はすでに明らかにしたが、簡単にまとめると次のとおり。①プロジェクトの後続プロセスにおける不整合は基本設計プロセスに起因することが多い。②全体の最適化に与える影響はこのプロセスが大きく、端的には大略はここで決するといえる。③にもかかわらず基本設計プロセスで工事費計画、施工計画、維持保全計画の技術的検討が実施されることはまれで、また情報システムなど物的設計を支援するしくみに欠ける。

まず第7章では集合住宅プロジェクトの最適化方法について総論的に論述する。

第8章では工事費計画の最適化のための工事費概算システムを開発し、基本設計プロセスで設計者が各種の建物形状、規模の設計案を作成するのに対して、タイムリーに概算数量が算出できるようにし、経済性の面での設計支援をはかる方法を示し、実証的に検討している。

第9章、第10章では基本設計プロセスでの概略施工計画の最適化の問題として工事、工程計画の主要部分である揚重計画を取りあげる。第9章では超高層プロジェクトに代表されるような建築物としては1棟でありながら、その建築面積、高さ等規模の大きいものを取りあげる。第10章では団地建設にみられるような、集合住宅を多数同時に施工するといった面的広がりを持ったプロジェクトへの資源配分をクレーン配置計画問題を例に論述する。

第11章では建築物の維持保全計画の最適化について論述する。

第7章 基本設計プロセスでの集合住宅プロジェクトの最適化方法

7.1 はじめに

本章では集合住宅プロジェクトの最適化方法について総論的に論述する。

まず7.2節では最適化の方法論上のいくつかの問題について論述する。具体的には、最適化方法の開発、多目的な計画問題の処理、分析と総合化、内容論と方法論、物的設計支援の重要性について議論する。7.3節では本論文でいう基本設計プロセスの最適化方法の具体的内容を明らかにする。まず初めに建築生産プロセスの各プロセスの具体的な作業内容を提示し、それら各プロセスの整合的最適化には情報を利用するシステムと情報をつくり出すシステムが必要であることを指摘し、その内容について詳述する。次にこれら二つのシステムに支えられた基本設計プロセスの最適化方法を明確にし、第8章以降で論述する具体的な最適化方法の位置づけを行う。7.4節で本章の議論で得た知見を整理し、まとめる。

7.2 最適化の方法論上の諸問題

7.2.1 最適化方法の開発

第1章、第6章で論述したことのくり返しになるので簡単にまとめておく。最適化方法の開発の程度には三つのレベルがある。(図7.1)最も低いレベル(レベル1)は現在部分的な事象について主として経験と達観によって意思決定されている過程をとり出しその過程を論理的にし、望むらくは合理的に部分最適化を達成する方法(現状改良型)。次のレベル(レベル2)はレベル1より包括的な部分的な事象について現状改良型の方法をいくつか統合し、もしくは現状改良型の方法と未だ論理的になっていない過程とを統合し、最適化を達成する方法(改善型)。レベル3は現状改良型、改善型の方法を統合し、もしくは未だ論理的になっていない過程をも包括した全体を最適化する方法(開発型)。

論理的過程にも三つの階層、論理化、ルール化、プログラム化がある。プログラム化は性格上部分的、限定的にならざるを得ず、ルール化はプログラム化を包摂している。論理化はルール化を包摂しており、相対的に広範な部分を対象にすることができる。簡単にいえばプログラム化された部分とプログラム化された部分を論理的に結びつけるとルール化された部分となり、その部分相互もしくはプログラム化された部分とルール化された部分

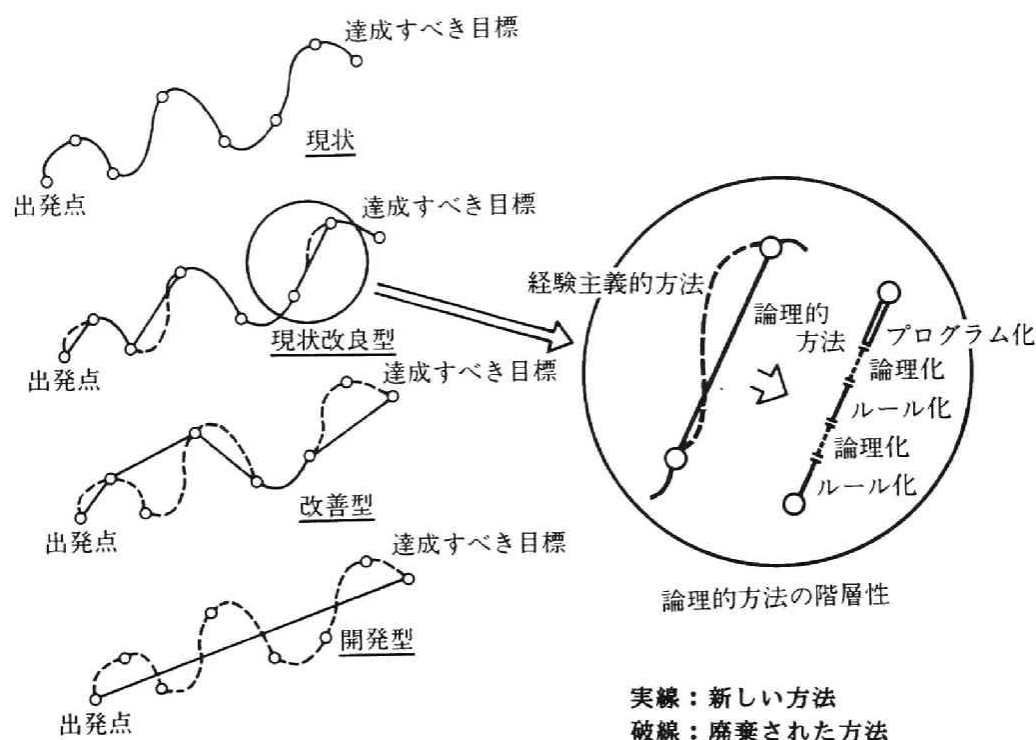


図7.1 最適化方法の三レベル

を論理的に結合すると論理化された部分となる。

既に明らかとなっており本論文ではレベル1を扱う。

7.2.2 多目的システム

集合住宅プロジェクトは多目的システムである。多目的とは複数個の目的から構成され、それらの目的が異質なことである。多目的システムを多目的計画問題として定式化すると次のようになる。

いま代替案の集合を X 、その目的空間の写像を $f: X \rightarrow Z$ で表すと、多目的計画問題 (P1) は P 個の目的関数 $f_1(x), \dots, f_P(x)$ と許容解 $x \in R^n$ の制約集合 $X = \{x \mid g(x) \leq 0\}$ が与えられたとき、ベクトル目的関数 $f(x) = (f_1(x), \dots, f_P(x))^T$ を最小にする問題である。(＊1) この種の問題は一気に全体を扱うことができないのが一般的である。多目的システムには複数の目的関数、評価基準が存在する場合とシステムを構成する部分がそれぞれ個別の目的関数を有する場合がある。前者を多目的性、後者を多階層性という。

(1) 多目的性

一般の多目的問題では複数の目的を同時に包括的に満たす最適解は存在しない場合が多い。(＊2)従って多目的問題に何らかの評価法を持ち込み、最適化に近づける工夫が必要である。この評価法は三つ。①評価関数を加重和でスカラー化、②一番重要な目的関数を取りあげ、残余を制約条件化、③非劣解(注1)の概念を使ったベクトル評価関数の最小化。通常は②の場合、且つ経済性を目的関数とすることが多い。付録1に各評価法の定式化しておく。

(2) 多階層性

全体問題がいくつかの部分問題から成る、あるいは部分問題に分割して考えることができる場合、それらは最終目的を達成するために複数の部分目的をもつ多目的システムといえる。部分問題以下の細分問題についても同様にいえる。部分は与えられた人的、金銭的


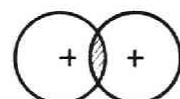
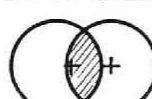

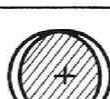
| | |
|--|---|
| <p>副問題Aの最適解 副問題Bの最適解</p> <p>可能な 解決範囲</p>  <p>副問題A 副問題B</p> <p>1</p> | <p>まったく両立しない解決： 両方の問題の可能的解決を包含する全体的解決は存在しない</p> |
|  <p>A B</p> <p>2</p> | <p>最適解は相互的に両立しない： どちらもの問題の最適解を包含する全体的解決は存在しないが、両方の問題の相互的な可能的解決を包含する全体的解決は存在する</p> |
|  <p>A B</p> <p>3</p> | <p>最適解は片方だけしか存在しない： 問題Bの最適解を包含する全体的解決は存在しないが、問題Aの最適解を含む全体的解決は存在する</p> |
|  <p>A B</p> <p>4</p> | <p>最適解が両立する： AまたはBの最適解を包含する全体的解決が存在するが、両方を同時に含むことはできない。</p> |
|  <p>5</p> | <p>最適解の合致： 両方の問題の最適解を同時に満足する全体的解決が存在する</p> |

図7.2 副次的問題の解決の両立の程度(＊9)

(注1) 多目的計画問題(P1)の解 \mathbf{x} は、 $\mathbf{f}(\mathbf{x}) \leq \mathbf{f}(\mathbf{z})$ となるような他の実行可能解 $\mathbf{x} \in R^h$ が存在しないとき、 \mathbf{z} をパレート最適解もしくは非劣解という。

ここに $\mathbf{f}(\mathbf{x}) \leq \mathbf{f}(\mathbf{z})$ とは、 \mathbf{f} のある成分 f_i に関して $f_i(\mathbf{x}) \leq f_i(\mathbf{z})$ が成り立つが、すべての成分 $i(i=1, \dots, p)$ について $f_i(\mathbf{x}) = f_i(\mathbf{z})$ の成立を必要としないことを示す。

資源および資機材のもとで、部分目的の最適化をめざす。全体は各部分の成果物、資源、費用を要素とする全体の目的関数を最適化し、各部分への資源配分を決定する。部分問題相互は①相互補完的、②独立無関係、③コンフリクト、トレードオフ、の三つの性質のいずれかを有する。ただし②の場合、全体問題は単に通常の問題にすぎず、多階層というほどの意味はない。この部分問題の関係を古賀唯夫はL. B. アーチャーの論として次のように述べている。「L. B. アーチャーは2つの副次的問題の解決について両立の程度は5つあると述べている（図7. 2）。図において相互に両立する解決の範囲は影で示されており、おのおの場合の最適解は円の中心の+記号で表される。最もよい状態は最適な解決の合致する5であり、この状態が達せられない場合は解決はAまたはBよりも重要と考えられる最適値に近い影の範囲で選ばなければならない。」（* 9）このような多階層多目的システムの決定問題は大きく二つに分けられる。一つは部分の相互干渉のために下位レベルの問題が多目的計画問題となる場合、他の一つは上位からのパラメータが付与され、下位レベルの問題が部分ごとに分離し、部分最適化をめざす場合である。集合住宅プロジェクトの問題に即していえば、たとえば生産プロセスの三段階つまり企画・設計段階、施工段階、維持保全段階への予算配分問題を考えると、過去の経験等から各段階への予算配分割合が付与され、各段階はその枠内で相互に独立的に最適化をするのが後者の例であり、通常行われている方法である。これを分権的資源配分問題という。一方同じ例でいえば、各段階への予算配分割合は付与されるが、各段階相互にも干渉があり、それらが互いに協力して全体の最適化をめざす場合、これを多目的資源配分といい、前者の例である。

さて多目的資源配分問題を一般的に定式化することは可能であるが（付録2）、集合住宅プロジェクトの工事費計画、施工計画、維持保全計画の三つを部分システムとした現実の多目的決定問題が定式化されるにはまだ相当程度の距離がある。相当程度の距離とは次のことをいう。

イ、部分システム自体がさらに多目的で複雑なシステムを構成している。たとえば施工計画だけをとり出しても目的にはコスト最小化、Manpower最小化、工期最小化などがある。施工計画の一つは輸送・揚重システムの検討があり、それはさらにクレーン、リフト、エレベータ等揚重手段への分割とそれらの最適化問題へと詳細化される。二つは工法検討があり、掘削から仕上に至る各種工事への分割とそれらの最適化問題へと部分化される。

ロ。このような部分システムにせよ、全体システムにせよその相互干渉は十分には把握されていない。この多くの事例は第Ⅰ編でみたとおりである。

ハ。従って相互干渉をシステム方程式の形で表現したり、制約条件式によって記述することが困難な状況がある。つまり数理計画法等の手法を使って全体の最適化を一気に達成することは当面不可能である。

ニ。現実の集合住宅プロジェクトの決定問題で定式化できることは、局所的な決定の手順であり、そこに内在する論理である。これらと経験、達観とをうまく使った最適化方法を考えざるを得ない。

このように考えてくると多目的資源配分問題として集合住宅プロジェクトを定式化し、数理計画的に解くことはいまのところ不可能に近く、有利とはならない。この場合の有利とはプロジェクトの最適解に効率的に近づくこと、全体の枠組をうまく把握できることである。従って現実的な最適化方法は主要な部分システムのモデルを構築し、部分システム間はインタラクティブ（対話的）な手段で決定者の経験、達観などをとり入れながら最適解に接近する方法であると考えられる。この点は次節で詳述する。

7. 2. 3 分析と総合

最適化には分析的過程と総合化の過程がある。分析的過程には二つの局面がある。一つは客観的、解析的な局面、つまり定量的な性質を有し、限定的に数量化、定式化が比較的容易な局面である。他の一つは主観的、判断的な局面、つまり定性的で数量化が困難であったり、限定的なモデル化により捨象された部分を扱う局面である。たとえば施工チームがA、B 2つある。作業効率はAがいい（前者の例）。しかし他職との円満さ、協調関係はBがいい（後者の例）。一般に工学分野では前者が強調されることが多く、数学的な性格の解明、解析手法の開発に力点が置かれている。しかし先にみたように集合住宅プロジェクトの最適化はいまのところ数学的な性格の解明、解析手法の開発が十分でなく、また多目的な資源配分問題を一気に扱うこともできないため、後者の立場が重要である。

いずれにせよ分析結果は総合化されねばならない。総合化の過程は調整機能に特徴づけられる。多目的性、多階層性をもつシステムを部分に分割・限定し、それによって具体的、個別的な問題を扱い得るようにした場合、各部分間の整合性を保ち、内部矛盾を解消させるべき調整機能が必要である。これはまた全体が部分の集合としてだけでは表せない、部分に還元できない性質『創発性』（＊7，次頁注1）の考慮と考えることができる。いず

れにせよ総合化は判断的的局面が強い。

7. 2. 4 決定過程の合理性

集合住宅プロジェクトの最適化方法は内容論的に合理的であることよりむしろ過程の合理性が求められる。簡単にいえば『何が決定されたか』ではなく、『いかに決定されたか』決定に至る過程が重要である。その理由は二つ。一つは集合住宅プロジェクトの各種の意思決定の過程は第Ⅰ編でみたように論理化が十分ではない。『何が決定されたか』は意思決定者の経験と達観に依存しており、決定者が異なれば異なった『何』が決定されることになる。従って『何が決定されたか』をいたずらに追求しても経験主義の枠組を超えることはない。二つは対象の複雑性、不確実性、定量化の困難性などにより集合住宅プロジェクトの最適化方法には判断的的局面が多分に存在することによる。

こうした『過程の合理性』の追求は全体問題の判断的的局面において満足化原理が働くことを予想させる。この満足化原理を瀬尾美巳子は「従来の解析的な意志決定は、限界分析による極値化の手法にもとづいており、その結果として選択される意志決定はそれ以外のすべての代替的な選択よりも優越しているという最適性 (optimum) の基準に従ったものであった。このような最適性基準は、完全な知識による合理性 (omniscient rationality)、すなわち完全合理性 (perfect rationality) を予想するものであって、意志決定の内容の絶対的な優越性を要求するものである。これに対して、多目的システムのように複雑な対象に対する、不完全情報にもとづく不確実性下の意志決定においては、意志決定の内容が、ある諸基準の集合の許容誤差 (tolerance) の下限に少なくとも一致するか、もしくはそれを超えていればよいということになる。」(※8) としている。

満足化原理が上述の意味だとすれば、現実の問題では諸基準が明確でなく、満足化原理による選択はできない。また集合住宅プロジェクトの部分問題では、その限りにおいて最適化原理で追求すべきことが多い。なぜならば部分問題の全体が仮に完全情報下であっても、個人的、あるいは局所的意志決定では経験、情報収集能力などに依存して不完全情報

(注1) 創発 (emergence)、創発的性質 (emergent properties) (※7) 全実在には、全体に対してのみ意味がありその部分に対しては意味をもたないような性質があるとする原則 (たとえばアンモニアの臭いのように)。人間活動システムのどのモデルも全体として取り扱うときに初めて出現する性質がある。この性質は個々の要素の活動およびその構造から生ずるのではあるが、個々の活動と構造には還元できない。

になる可能性が強いからである。諸基準が明確でない場合、経験だけに依存した、似非『満足化原理』により選択することが予想され、この危険を回避するためには部分問題において最適性基準による解の探究を意図しなければならない。

7. 2. 5 物的設計支援

以上の考察から明らかなように、ここにいう集合住宅プロジェクトの最適化方法は一定の入力があれば自己完結的に何らかの定言、結論を絶対的なものとして出力するものではない。あくまでもプロジェクトの最適化に向けて必要な情報を提供し、一方でその情報の論理的根拠が確保されており、意思決定者の判断を支援するものである。端的には物的設計支援の計画システムの構築である。

いま施工計画を例に物的設計支援の重要性をモデル的に考察する。（＊10，11）

（1）施工計画に代表される生産設計は1. 2節でみたように設計追随型である。しかし物的設計が経済性、実行可能性の点で早期に検討されるならば設計解に至るステップは相当程度減少されるものと考えられる。ここでは設計過程をマルコフモデルとしてとらえ、生産設計の多寡によって設計解に至る推移をモデル的に検討する。

（2）前提（吸収マルコフ連鎖 図7. 3）

- ・設計行為は機能設計から始まり、意匠設計、生産設計、及び設計解へと推移する。
- ・どの類の過程に推移するかは一定の確率に従い、マルコフ性と定常性を有する。
- ・設計解は吸収状態で意匠設計と生産設計から推移。
- ・生産設計が不十分な場合の推移確率 P_1 ，十分な場合の推移確

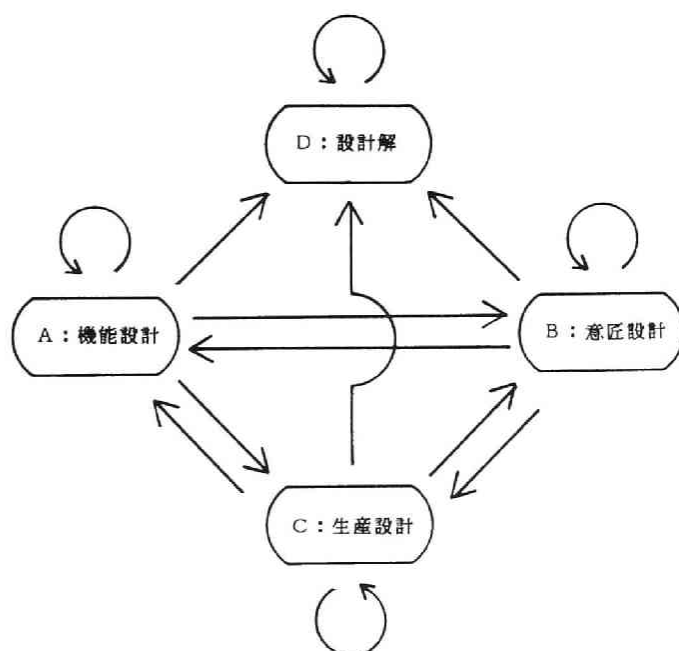


図7. 3 設計過程のマルコフモデル

率 P_2 とする。簡単のため両者は生産設計から設計解に推移する確率のみ異なるものとする。

| | | to | | | | |
|-------|---|------|-----|-----|-----|---|
| | | from | A | B | C | D |
| P_1 | A | 0.2 | 0.6 | 0.2 | 0 | |
| | B | 0.4 | 0.1 | 0.3 | 0.2 | |
| | C | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 | |
| | D | 0 | 0 | 0 | 1.0 | |

| | | to | | | | |
|-------|---|------|-----|-----|-----|---|
| | | from | A | B | C | D |
| P_2 | A | 0.2 | 0.6 | 0.2 | 0 | |
| | B | 0.4 | 0.1 | 0.3 | 0.2 | |
| | C | 0.4 | 0.4 | 0 | 0.2 | |
| | D | 0 | 0 | 0 | 1.0 | |

(3) 吸収マルコフ連鎖の吸収過程

推移確率行列 $P = \{P_{ij}\}$ $i, j = 1, 2, \dots, N$ は

$$P = \begin{pmatrix} \underbrace{Q}_{r \times r} & \underbrace{R}_{r \times (N-r)} \\ \underbrace{O}_{(N-r) \times r} & \underbrace{I}_{(N-r) \times (N-r)} \end{pmatrix}$$

と表せる。ただし

Q : $r \times r$ 行列 r : 一時的状態の数 ($r = 3$)

I : $(N-r)$ 次元の単位行列 (一次元)

R : $r \times (N-r)$ 行列 (3×1)

O : $(N-r) \times r$ の零行列 (1×3)

いま $M = (I - Q)^{-1}$ (基本行列) とすれば

$$P^n \rightarrow \begin{pmatrix} O & MR \\ O & I \end{pmatrix} \quad (n \rightarrow \infty)$$

吸収マルコフ連鎖の吸収に至るうごき (図 7. 4) を吸収確率 MR 、平均訪問回数 M 、平均吸収時間 $\tau = M \epsilon$ (ϵ : 要素 1 の列ベクトル) で表し、 P_1, P_2 について求める。

$$M_1 = \begin{pmatrix} 5.36 & 5.00 & 2.57 \\ 3.93 & 5.00 & 2.29 \\ 4.64 & 5.00 & 3.43 \end{pmatrix}$$

$$M_2 = \begin{pmatrix} 3.75 & 3.27 & 1.73 \\ 2.50 & 3.46 & 1.54 \\ 2.50 & 2.69 & 2.31 \end{pmatrix}$$

$$M_1 \epsilon = [12.93 \quad 11.21 \quad 13.07]^t,$$

$$M_2 \epsilon = [8.75 \quad 7.50 \quad 7.50]^t$$

なお M_1R , M_2R はすべての要素1の列ベクトル。

(4) 以上をまとめると、①A：機能設計で開始された設計行為は不十分な生産設計の場合で平均12.93ステップ、充分な場合で8.75ステップで設計解に至る。②A, B, Cへの訪問回数は P_1 , P_2 いずれの場合もA, Bはほぼ等しく、CはA, Bの半数程度。従ってAで始まる設計行為はA, B, Cへのバランスを変化させることに作用するよりも、全体の回数を低減させる方向に働く。③いずれにせよ生産設計（物的設計支援）の重要性は高い。

| P_1 の 推 移 | | | | | P_2 の推移 | | | | |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|
| REPITITION No.= 0 | 0 | 0.200 | 0.600 | 0.200 | 0.000 | 0.200 | 0.600 | 0.200 | 0.000 |
| | | 0.400 | 0.100 | 0.300 | 0.200 | 0.400 | 0.100 | 0.300 | 0.200 |
| | | 0.500 | 0.500 | 0.000 | 0.000 | 0.400 | 0.400 | 0.000 | 0.200 |
| | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| REPITITION No.= 10 | 0.156 | 0.169 | 0.089 | 0.585 | 0.094 | 0.102 | 0.058 | 0.746 | |
| | 0.134 | 0.145 | 0.076 | 0.643 | 0.079 | 0.086 | 0.047 | 0.786 | |
| | 0.158 | 0.171 | 0.090 | 0.579 | 0.079 | 0.086 | 0.047 | 0.786 | |
| | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | |
| REPITITION No.= 20 | 0.066 | 0.072 | 0.038 | 0.822 | 0.024 | 0.026 | 0.014 | 0.933 | |
| | 0.057 | 0.062 | 0.032 | 0.847 | 0.020 | 0.022 | 0.012 | 0.944 | |
| | 0.067 | 0.073 | 0.038 | 0.820 | 0.020 | 0.022 | 0.012 | 0.944 | |
| | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | |
| REPITITION No.= 30 | 0.028 | 0.030 | 0.016 | 0.924 | 0.006 | 0.007 | 0.003 | 0.982 | |
| | 0.024 | 0.026 | 0.014 | 0.934 | 0.005 | 0.005 | 0.003 | 0.985 | |
| | 0.028 | 0.031 | 0.016 | 0.923 | 0.005 | 0.005 | 0.003 | 0.985 | |
| | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | |
| REPITITION No.= 40 | 0.012 | 0.013 | 0.006 | 0.967 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.995 | |
| | 0.010 | 0.011 | 0.005 | 0.972 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.998 | |
| | 0.012 | 0.013 | 0.007 | 0.967 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.998 | |
| | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | |
| REPITITION No.= 50 | 0.005 | 0.005 | 0.002 | 0.986 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.998 | |
| | 0.004 | 0.004 | 0.002 | 0.988 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.999 | |
| | 0.005 | 0.005 | 0.003 | 0.986 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.999 | |
| | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | |
| REPITITION No.= 60 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.994 | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> to from </div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div>A</div> <div>B</div> <div>C</div> <div>D</div> </div> <div style="margin-left: 10px;"> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div>P₁₁ P₁₂ P₁₃ P₁₄</div> <div>P₂₁ P₂₂ P₂₃ P₂₄</div> <div>P₃₁ P₃₂ P₃₃ P₃₄</div> <div>P₄₁ P₄₂ P₄₃ P₄₄</div> </div> </div> </div> | | | | |
| | 0.001 | 0.002 | 0.001 | 0.994 | | | | | |
| | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.994 | | | | | |
| | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | | | | | |
| REPITITION No.= 70 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.997 | | | | | |
| | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.997 | | | | | |
| | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.997 | | | | | |
| | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | | | | | |
| REPITITION No.= 80 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.998 | | | | | |
| | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.998 | | | | | |
| | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.998 | | | | | |
| | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | | | | | |

図7.4 推移過程

7.3 基本設計プロセスでの集合住宅プロジェクトの最適化方法

前節で考察したように集合住宅プロジェクトの最適化方法をここでは基本設計プロセスに限定して論述する。またすでに明らかではあるがプロジェクトの最適化をコスト最小化に限定することを明確にしておく。

7.3.1 集合住宅プロジェクトのプロセスフロー

一般的な建築プロジェクトのプロセスをやや細かくみたのが図7.5、表7.1である。ただし各プロセスの入、出力の情報の種類と詳細の程度において必要で且つ十分な条件の社会的合意は成立していない。提案的性格の強い図表である。（*6, 12, 13, 14）

このような多種多様の業務、目的、プロセスを整合的に最適化するには端的にいて、情報を利用するシステムの整備と情報をつくり出すシステムの構築の二つを欠くことができない。

7.3.2 情報を利用するシステム

建築生産プロセスの分断と組織の分立は情報の円滑な交流を阻害する。従って情報に流通のシステムを付与することが必要である。（図7.6）情報を利用するシステムは4つのサブシステムより構成される。第一は一般情報でいわゆるオープンデータの活用システム。第二は組織内、企業内情報の活用システム。この二つは一般にフィードバック情報といわれ、従来よりその必要性が指摘されている。情報を利用するシステムの第三はプロジェクトの川上側、たとえば企画・設計段階で後続プロセスである工事費計画、施工計画、維持保全計画などの概略を立案し、その分析情報を利用するシステムである。つまり当該プロジェクトの先取り情報といえる。こうすることによって部分問題を総合化し、全体を最適化するために利用可能なものとなる。また企画・設計段階の計画は概略もしくは主要な部分から順次詳細化され、いわゆる階層性が存在する。従って前プロセスの計画内容をプロセスの進行に伴って後続プロセスに伝達するシステムが必要で、これが第四のシステムである。

7.3.3 情報をつくり出すシステム

情報をつくり出すシステムとは前項の情報システムの第三、第四において分析情報をつくり出すシステムのことで、本論文では物的設計を支援する工事費概算（工事費計画）、

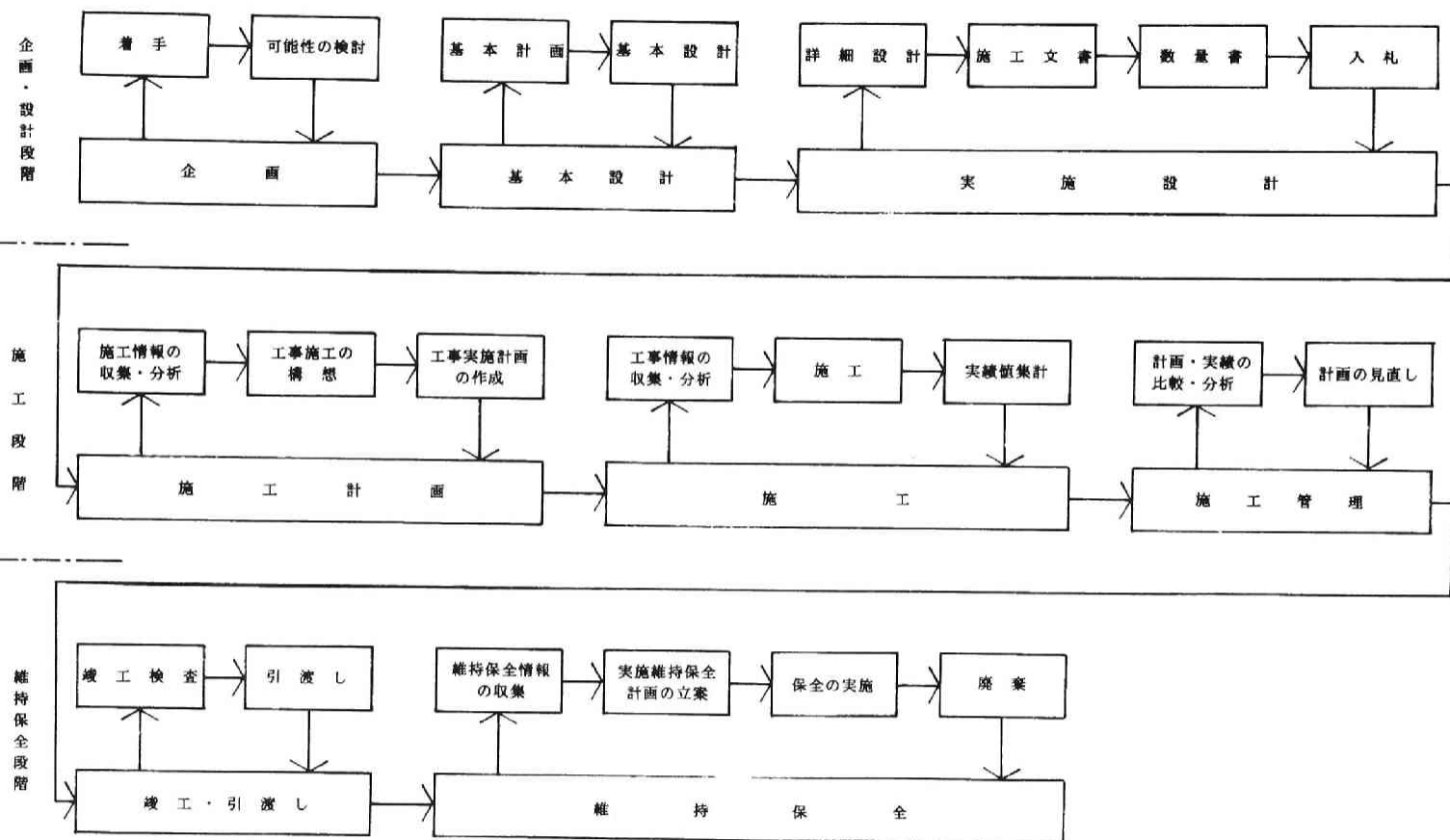


図7.5 集合住宅プロジェクトのプロセスフロー

表7.1 各プロセスの作業内容

| プロセス | 部分プロセス | 作業の目的及び決定事項 | 業務の内容 |
|------|--------|--|---|
| 企画書 | | ・要求事項の概要を作成し、プロジェクト推進の活動計画を作成 ・建築主のニーズの具体化を支援 | ・建築主のプロジェクト推進組織の構成 ・要求事項の検討と建築家の指名 ・与条件を具体的な設計条件に変換 |
| | 可能性の検討 | ・プロジェクトの機能的、技術的、経済的な実行可能性を検討 ・それらの評価及び提案のまとめ ・建築主がプロジェクト実施の態様を決定 | ・使用者の要求事項、敷地条件、計画、設計、コストなどについて調査研究 ・与条件を具体的な設計条件に転換 |
| 基本設計 | 基本計画 | ・基本計画及び関連報告に関する建築主の公式の承認を得るため、配置計画、設計、構法の概略を決定 | ・企画内容を具体化 ・設計条件を具体的な設計作業に結びつける ・決定に必要な使用者の要求事項、技術問題、計画、設計、維持保全、コストなどについて引き続き調査研究 |
| | 基本設計 | ・企画を完成し、平面計画、構法、工法などを内容とする計画案を決定 ・技術的、時間的な実現の可能性を確認 ・概略の維持保全計画を策定 ・これらすべての承認を得る | ・企画の最終的な詰め ・大筋の意匠的な設計を完成 ・技術的には予備的設計 ・設計内容実現のための生産設計 ・維持保全計画の検討 ・コスト計画書、説明書作成 ・建築基準法その他の法規の適合の確認 ・提案内容の建築主への提出 |
| 実施設計 | 詳細設計 | ・設計、仕様、一般構造、コストに関するすべての問題の最終決定 ・概略の施工計画の確立 ・維持保全計画の確立 | ・建築物の各部分、構成材の設計の完成 ・当該設計のコストチェック ・工期、コストの裏付けとなる概略の施工計画の検討 ・各部分、構成材の維持保全戦略の検討 |
| | 施工文書 | ・施工用文書を作成 ・作業実施のための最終的且つ詳細な意思決定 | ・設計図、工事工程表、仕様書などの最終的な施工用文書の検討 ・それらの裏付けとなった施工計画、維持保全計画などの整理 |
| | 数量書 | ・入札に付するためのすべての情報を整理、準備を完了 | ・数量書及び入札書類の作成 |
| | 入札 | ・入札に関する建築主の承認 ・入札書類を発行し、質疑を処理 ・落札者の決定 | ・入札募集文書発行 ・開札、落札者の決定 |
| | 施工計画 | ・施工計画作成のための必要な情報の収集・分析 ・合理的な施工のために主要な工事の施工法等決定 | ・契約書類のチェック ・工事内容の調査・検討 ・実施設計プロセスでの施工計画の再検討 ・主要工事の施工法の選択、決定 ・施工数量の概略把握 ・工事用資材の調達能力調査 |

| | | | |
|--------|-------------|--|--|
| 施工計画 | 工事施工の概要 | ・主要工事の施工方針の立案 ・全体の概略施工計画の策定 | ・全体の概略施工計画の検討 ・主要工事の資源配分の検討 ・主要工事のスケジューリング |
| | 工事実施計画の作成 | ・現実の工事施工のための工事計画を作成 | ・詳細な工程計画の作成 ・その裏付けとなるスケジューリング ・資源調達計画の作成 |
| 施工 | 工事情報の収集・分析 | ・明確な実施施工計画、工事計画を作成し、管理資料とする | ・週間工程表の作成 ・資源配分計画 ・管理資料の作成 |
| | 施工 | ・的確に工事を実施 | ・明確な実施指示 |
| | 実績値集計 | ・出来形、出来高、品質等作業実績の集計 | ・作業結果の実績値集計、把握 |
| 施工管理 | 計画・実績の比較・分析 | ・確実な施工のために品質、工程、安全、原価等の諸側面の計画と実績のずれ、原因等を分析 | ・進捗度、工程管理 ・品質管理 ・安全管理 ・原価管理 |
| | 計画の見直し | ・分析結果をふまえて計画の再検討、更新などにより、工事施工の現実性と状況への対応に努力 | ・計画内容の再検討、更新 ・情報のフィードバックと更新 |
| 竣工・引渡し | 竣工検査 | ・工事結果の判定 ・建築主との工事契約に合致した施工の完了の確認 | ・社内検査 ・建築主等の竣工検査 |
| | 引渡し | ・建築主、使用者に対して建築物の引渡し、取扱いの説明 ・維持保全の考え方、やり方説明 | ・建築物引渡し書類の整備 ・取扱い説明書類の整備 ・維持保全計画（案）の検討 |
| 維持保全 | 維持保全情報の収集 | ・各種の情報源より利用可能な情報を入手、整理 | ・企画、設計段階での維持保全計画の情報収集 ・施工段階での維持保全情報の収集 ・その他一般の情報収集 |
| | 実施維持保全計画の立案 | ・維持保全計画を策定し、使用期間中に生ずる故障、劣化等に対して適宜修繕、取替等の意思決定を行う資料とする | ・予防保全、事後保全等の維持保全戦略を検討 ・全体の維持保全計画を策定 |
| | 保全の実施 | ・維持保全計画に基づいた修繕、取替等の実施と計画の見直し | ・維持保全計画の実施と管理 ・維持保全計画の見直し検討 ・緊急性のある修繕、例外事項等の臨機応変の処置 |
| | 廃棄 | ・維持保全計画、耐用計画に従って、建築物の部分、構成材の廃棄計画と実施 | ・計画に基づく取替、廃棄の検討、準備、実施 ・例外的取替、廃棄の処置 ・維持保全計画の再検討 ・建築物全体の使用計画の再検討、更新 |
| | | | |

つくり方の最適化（施工計画）、保全の最適化（維持保全計画）の三システムを指す。従来設計図書確定後、あるいは工事の完了後、主として経験と達観によって立案されていた施工計画、維持保全計画を基本設計プロセスで論理的に（第1章でいう現状改良型をめざし、第6章でいうルール化、プログラム化を達成する）、且つ整合的に検討しようとするものである。

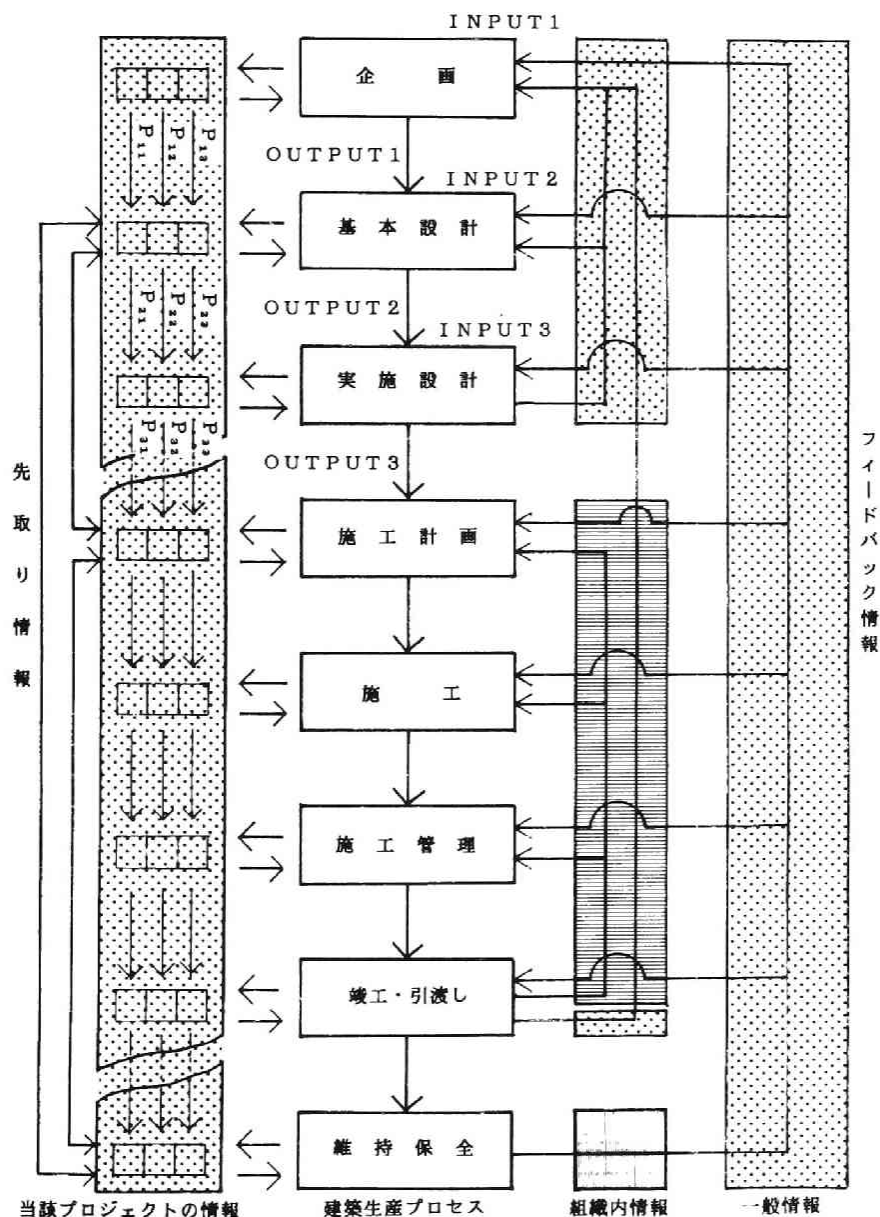


図7.6 集合住宅プロジェクトのプロセスと情報システム

(1) 基本設計プロセスでの検討内容・出力

企画、基本設計、実施設計の各プロセスにおいて **利用できる情報** → **決定される内容**
 → **成果物** に整理したのが表 7. 3 である。同表は建設省建築設計工事監理業務報酬調査委員会によってまとめられた内容（※ 15）にプロジェクトの最適化のためには欠くことができない内容を付加したものである。

(2) 工事費計画、施工計画、維持保全計画の内容と出力

本論文はそのうち基本設計プロセスでの工事費計画、施工計画、維持保全計画の三つの部分システムを扱うものであり、その内容と出力は表 7. 2 のとおり。同表は二つのことを内包している。一つは工事費計画、施工計画、維持保全計画のいずれもが企画プロセスから実施設計プロセスに至る過程で詳細化される階層的構造を有していること。二

表 7. 2 工事費計画、施工計画、維持保全計画の内容と出力

| プロセス | 工事費計画 P_{1j} | 施工計画 P_{2j} | 維持保全計画 P_{3j} |
|---------------------|---|--|--|
| 企 画 P_{1j} | 類似物件データなど統計データによる延面積当たり単価の算出 工事別に算出 | 構造、構法、工法、施工程度等の構想 構想に基づく概略の工期設定 | 使用年数等耐用計画構想 維持保全水準、戦略の構想 |
| 基 本 設 計 P_{2j} | 概算数量算出による工事費概算（軀体構造断面は内生、外部入力いずれも可能） 部位、部分別数量算出 施工計画の裏付けを持った概算 維持保全計画を加味した概算 | 概略の施工計画 主要工事の工法、実現可能性の検討 主要部位、部分の施工程度の検討 シミュレーション、概略資源配分などにより工期・工程計画の概略を設定 維持保全計画を考慮した施工計画 | 主要部位、部分の物理的耐用年数の設定 信頼性／安全性の配分計画 保全性設計 主要材料、仕様の設定 主要部分の保全、修繕戦略の決定 概略維持保全計画 |
| 実 施 設 計 P_{3j} | 詳細化ならびに細部変更への対応 実施設計完了後本見積り積算 | 詳細化 設計施工の場合引続き実施施工計画 設計施工分離では引渡し情報の整備 | 維持保全計画の詳細化 保全性設計の確認 施工段階への引渡し情報の整備 |

つは各プロセスでは三つの部分システムが相互に関連し合っていることである。長期的にみればこの部分システム間の関係式（システム方程式）が定式化されることが必要であり、そのことによってプロジェクトの最適化を多目的計画問題として扱うことが可能となる。

(3) 解析的局面、合理性の追求

各部分システムは 7. 2. 3 項でいう解析的局面であり、過程の合理性を追求すべき局面である。合理性とは過程が論理的であること、そして評価基準が明確で主観が入らないことである。さらにプロジェクトの最適化をコスト最小化に限定した場合、各部分システムは全体システムから一定の制約を受けながら、部分システム内のコスト最小化をはかる問題と考えることができる。従って一定の制約（システム方程式）が定式化できない現状ではこの機能を意思決定者が対話的にはたすことになる。いずれにせよ部分システム内では与えられた条件下でコスト最小化をはかればよい。

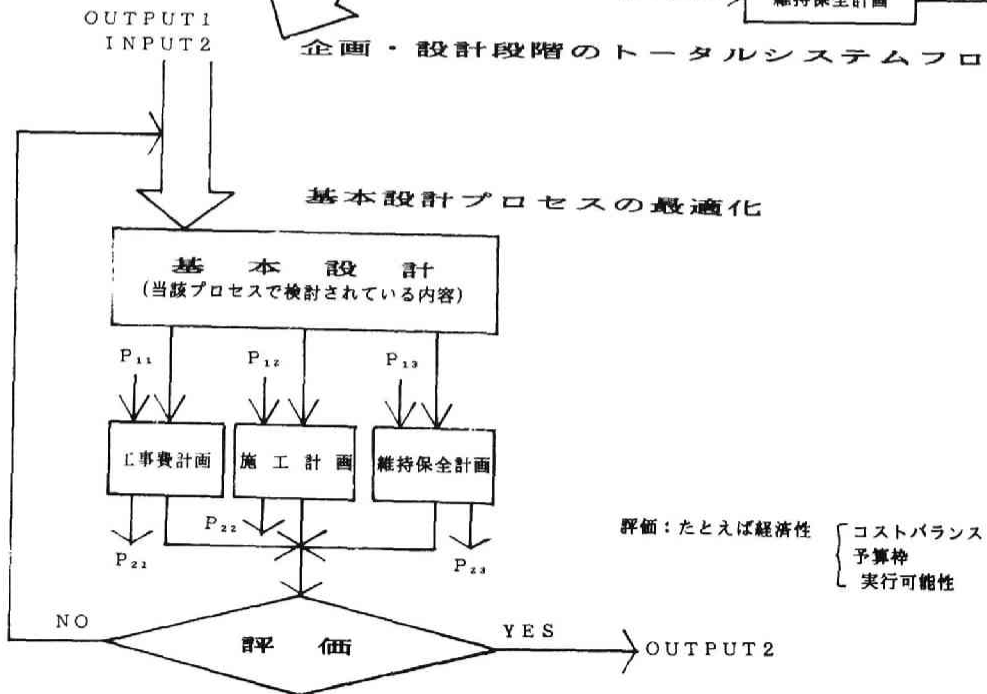
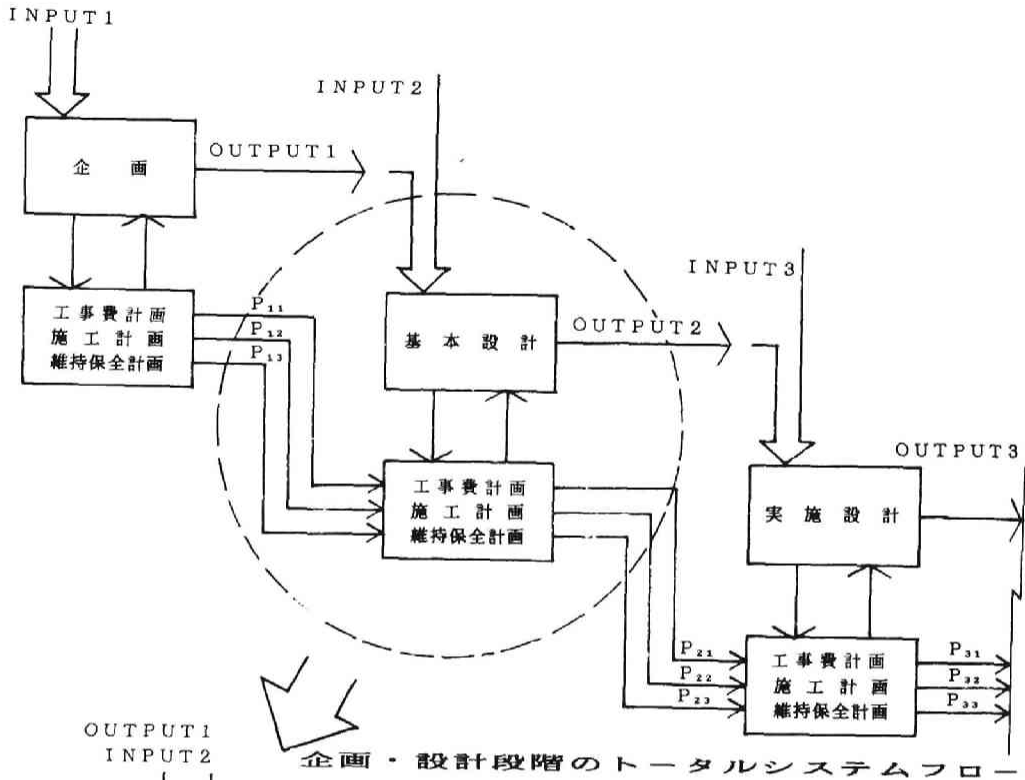
表7.3 企画・設計段階での検討内容・入出力

| | 利用できる情報 | 決定される内容 | 成果物 | |
|---------|--|--|--|---|
| 企画 面 | ◇INPUT1 企画概要 面積規模 用途、質 敷地 ◇調査研究が必要な場合 調査研究・企画項目 敷地選定のための調査研究・企画 建築計画諸源確定のための調査研究・企画 工事費予算確定のための調査研究・企画 その他 | 設計要旨（面積、階数、性能グレード、構造、法規制等） フィジビリティ スタディ 工事費の検討 施工法、工期等の構想 維持保全計画の構想 目的 設計対象となる建築物に適合する敷地を選定するために必要な調査研究あるいは対象敷地の立地可能性を探るための調査研究・企画 業務内容 敷地適応条件に関わる調査研究 法的条件に関わる調査研究（地域・地区指定） 自然的環境条件に関わる調査研究（土質・風向・日照） 社会的環境条件に関わる調査研究（交通・人口） 配置設計条件に関わる調査研究（密度等） 技術的条件に関わる調査研究（工法） その他 敷地適応条件に関わる調査研究 敷地の立地条件に関わる調査研究 法的条件に関わる調査研究 自然的環境条件に関する調査研究 社会的環境条件に関する調査研究 配置設計上の条件に関する調査研究 技術的条件に関する調査研究 その他（測量、実測、建物の鑑定） 概略設計による工事費概算 経営的条件に関する調査研究 工事費の事例調査研究 その他 環境アセスメント その他 | ◇OUTPUT1 建築物の構造、規模概要 設備等の構想 概略の計画 設計、仕様 工事費概算 施工計画（主として工期） 維持保全計画（主として耐用計画） 成果・図書等 調査研究報告書 概略計画書 調査研究報告書 概略計画図書 調査研究報告書（積算書、経営的条件の検討） 概略計画図書 調査研究報告書 概略計画図書 | |
| | 基本 設計 面 | ◇OUTPUT1 ◇INPUT2 依頼主と条件 現地調査資料 類似事例調査資料 関連法規調査資料 関係官庁打合せ資料 各種打合せ資料 重要資機材の使用可能性 維持保全データ | 条件設定 設計条件の設定 要求性能の確定 法的、その他制約条件の整理 工事予算の設定 設計方針の設定 設計理念の確定 仕様程度の設定 比較検討 性能面からの機能的検討 設計理念上あるいは意匠上の検討 計画実現のための工事費検討、配分計画 計画実現のための施工性の検討、施工計画の検討 仕様、使用材料、構造方式、設備方式等の総合的検討 維持保全計画の策定 総合 機能配置計画 空間構成計画 工事費配分計画 動線計画 防災計画 施設配置計画 平面計画 断面計画 立面計画 各担当総合調整 | ◇OUTPUT2 仕様概要表 仕上表 面積表、求積図 敷地案内図 配置図 平面図（各層） 断面図 立面図（各層） 矩計図（主要部詳細） 計画説明書 工事費概算書 施工計画（工期、概略工程） 維持保全計画（修繕戦略） |
| | | 実施 設計 面 | ◇OUTPUT2 ◇INPUT3 依頼主と条件の詳細な把握 現地詳細調査、確認 使用材料等についての文献カタログ等収集 スケジュールの調整 各担当打合せ資料 | 条件設定 基本設計に基づき設計条件の詳細な設定 各部要求性能の確定 法的、その他制約条件の各部工事の把握 基本設計に基づく設計方針の展開 比較検討 各部機能検討 空間表現の検討 形態の検討 使用材料の検討 工事費の検討 施工技術の検討 維持保全計画の検討 総合 外部空間設計 内部空間設計 平面設計 断面設計 立面設計 詳細設計 各部使用材料、仕様の確定 防災設計 工事費概算との調整 各担当との調整 |

7.3.4 基本設計プロセスでの最適化方法

以上論述したことをまとめると次のとおり。

基本設計プロセスでの最適化方法とはプロジェクトの最適化をコスト最小化とし、物的



設計を支援する工事費概算（工事費計画）、つくり方の最適化（施工計画）、保全の最適化（維持保全計画）の三つをとり出し、残余の目的は制約条件化する。こうして設計者もしくは設計チームが物的設計を確定していく過程で実行可能性と経済性の点で支援できるシステムのことをいう。図7. 7はこの概念を示したものである。

（1）工事費計画の最適化

基本設計プロセスで設計者は各種の建物形状、規模、構造形式の設計案を作成し、比較検討しなければならない。代替案の比較検討は意匠的、機能的な評価もさることながら、経済性の点での評価を欠くことができない。設計者が行う経済性評価を支援するために、各種の代替案の工事費が精度よく、迅速に算出でき、結果として最適な代替案が選択できるシステムを開発、提案する。以下第8章で論述する。

（2）施工計画の最適化

基本設計プロセスで設計に含まれている主要工事について、技術的な実現可能性、経済的な施工方法、工期を検討し、概略の施工計画を立案するシステムである。本論文では施工計画の主要な計画の一つである揚重工事計画をとりあげる。基本設計プロセスで建物形状、階数、棟数、揚重負荷の概略が明らかになった段階で、実現可能な概略の工事計画を論理的、網羅的に立案し、その中で経済的に最適な工期、揚重工事計画を算出するシステムを開発、提案する。以下第9、10章で論述する。

（3）維持保全計画の最適化

本システムの目的は基本設計プロセスで建物の主要な部分の設計、仕様について、ライフサイクルコストの観点で最適なものが選択できることである。そのため設計、仕様を決定する際に、建物の管理水準、使用期間、耐用年数、修繕方法と時期等の違いによって概略の維持保全計画を網羅的に立案し、維持保全費用を算出し、その費用と初期建設費の和が最小となる設計、仕様並びに概略の維持保全計画を決定することができるシステムを開発、提案する。以下第11章で論述する。

（4）これら三計画システムの相互関係はシステム方程式、制約条件式として記述できる程度に明確にはなっていない。またプロジェクトの最適化の目的は本来コストの最小化に限定できない。従って三計画システムは設計者が個別にインタラクティブに利用し、残余の計画要素、目的の考慮は統合の過程で経験と達観によって行うこととする。

7. 4 まとめ

本章では集合住宅プロジェクトの最適化方法の方法論上の問題と最適化の枠組について論述した。以下に知見をあげる。

(1) 最適化方法の開発には現状改良型、改善型、開発型の三つがあるが、当面は現状改良型の方法に取り組むことの妥当性が明らかとなった。

(2) 集合住宅プロジェクトは多目的システムであり、そこには多目的性と多階層性の二つの特徴がある。その一般的な定式化は可能であるが、現実のプロジェクトの定式化には未だに無理がある。なぜならば部分システム相互、全体システムと部分システム間の相互連関性が十分には把握されておらず、システム方程式、制約条件式を書くことができないためである。

(3) 一般的には多目的な問題の複数の目的を同時に包括的に満たす最適解は存在しない。多目的な問題は最も重要なものを単一目的とし、残余は制約条件化して最適化するのが通常であり、本論文もこの立場をとる。

(4) 集合住宅プロジェクトの最適化方法は内容論的に合理的であることよりもむしろ過程の合理性が求められる。「何が決定されたか」が重要ではなく「いかに決定されたか」が重要である。

(5) 具体的に最適化方法を検討する場合、建築生産プロセスの全体についてその業務内容を明確にすることが前提となる。ところが一般的に業務内容に関する合意は存在していない。そこに留意して業務内容について新しく整理しなおした。

(6) 最適化はプロジェクトの枠組が固まりつつある段階から追求されるべきで、またその場合により大きな成果をあげることが可能である。ここに基本設計プロセスでの最適化を追求することの妥当性がある。

(7) このような複雑、多様なプロジェクトの最適化には情報を利用するシステムと情報をつくり出すシステムが必要である。

(8) 情報を利用するシステムには①オープンデータの活用システム、②組織内、企業内情報の活用システム、③先取り・分析情報の利用システム、④階層的情報伝達システムの四つがある。

(9) 情報をつくり出すシステムとして本論文では工事費計画、施工計画、維持保全計画の三つをとり出し、その内容を詳細に検討した。その結果それらの相互関係と、企画から基本設計、実施設計へとプロセスが進行するにつれ、内容が詳細化される階層的構造を有

することを明らかにした。

(10) プロジェクトの最適化をコスト最小化に限定した場合、全体の最適化は一定の制約条件下での部分システムのコスト最小化問題におきかえることができる。

(11) 各部分システムで最小化されたものの総合化はインタラクティブな手段で意思決定者の経験と達観を利用して行う。

以上の知見をもとに基本設計プロセスでの最適化方法を概念図で示したのが図7.7である。これで集合住宅プロジェクトの最適化のための全体の枠組は論述されたものとして、第8章以降では各部分システム、すなわち工事費計画、施工計画、維持保全計画をコスト最小化問題として定式化し、その解法について論述することにする。

参 考 文 献

- * 1) 志水清孝：多目的と競争の理論，共立出版，1982
- * 2) 土木学会編：土木計画における最適化（土木計画学シリーズ IV）pp.54 技報堂
- * 3) 瀬尾美巳子：多目的評価と意志決定，日本評論社，1984
- * 4) 前出 3) pp.50
- * 5) 前出 1) pp.122, 123
- * 6) 古阪，古川他：建築プロジェクトの最適化問題の考え方，日本建築学会「建築生産と管理 技術」シンポジウム論文集，1985.7
- * 7) P.Checkland著，高原，中野監訳：新しいシステムアプローチ，オーム社，1985
- * 8) 前出 3) pp.16～17
- * 9) 古賀唯夫他著：デザインの要素・技術とプロセス，工業デザイン全集3 設計方法，日本出版サービス，1983.2
- * 10) 吉川弘之他著：工学における設計学，工業デザイン全集1 理論と歴史，日本出版サービス，1983.12
- * 11) 森村，高橋：マルコフ解析（ORライブラリ-18），日科技連出版社，1979

- * 1 2) L.Beaven,D.Dry編：ARCHTECT'S JOB BOOK, RIBA Publications Limited,
1977
- * 1 3) Property Services Agency編，長倉，越部訳：建築デザインのコストコントロール手法，彰国社，1979
- * 1 4) 田坂隆一郎：土木施工の工事計画・管理のシステム化に関する実証的研究，京都大学学位論文，1983
- * 1 5) 建設省建築設計工事監理業務報酬調査委員会：建築設計工事監理業務報酬調査報告書，1977.3
- * 1 6) 浜口，古阪他：集合住宅の概算法に関する研究(1)，日本建築学会大会学術講演梗概集，1984.10
- * 1 7) 古川，古阪他：集合住宅の概算法に関する研究(2)，日本建築学会大会学術講演梗概集，1985.10
- * 1 8) 古阪秀三：揚重用クレーンの配置計画に関する研究 その1，日本建築学会論文報告集，1984.10
- * 1 9) 古阪，古川他：修繕計画の計量的方法に関する研究(1)，日本建築学会大会学術講演梗概集，1984.10
- * 2 0) 古阪，古川他：修繕計画の計量的方法に関する研究(2)，日本建築学会大会学術講演梗概集，1985.10

付 録 1

①加重と最小化手法

凸性の仮定のもとで、多目的計画問題（本文中の P 1）を目的関数の和を最小にする問題として定式化する。すなわち

$$\min_{\mathbf{x}} \mathbf{w}^T \mathbf{f}(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^p w_i f_i(\mathbf{x})$$

$$\text{条件} \quad \mathbf{x} \in X = \{\mathbf{x} \mid \mathbf{g}(\mathbf{x}) \leq \mathbf{0}\} \quad (\text{P } 2)$$

ここで $\mathbf{w} = \{w_i \mid w_i \geq 0\} \in \mathbb{R}^p$ は重み係数ベクトルである。

この重み係数は各 f_i 間の相対的な重要度を表しており、ア・プリオリに一意的に付与されるものとするのがこの手法の特徴である。従って最適解は重み係数の決め方に依存し、その点に問題点は集約される。

②単一目的関数にし、残余の目的関数は制約条件化（ ϵ -制約法）

この方法は目的関数に優先するものがある場合に有効なものである。つまり目的関数 f_1, \dots, f_p の中から、ある任意の f_k （優先される目的関数）のみを目的関数として残し、ほかのものを制約式に置き換えるものである。多目的計画問題（P 1）を ϵ -制約法を使って定式化すると次のとおり。

$$\min_{\mathbf{x}} f_p(\mathbf{x})$$

$$\text{条件} \quad \mathbf{f}_{\bar{p}}(\mathbf{x}) \leq \boldsymbol{\epsilon}$$

$$\mathbf{x} \in X = \{\mathbf{x} \mid \mathbf{g}(\mathbf{x}) \leq \mathbf{0}\} \quad (\text{P } 3)$$

$$\text{ただし} \quad \mathbf{f}_{\bar{p}}(\mathbf{x}) = (f_1(\mathbf{x}), \dots, f_{p-1}(\mathbf{x}))^T$$

$$\boldsymbol{\epsilon} = (\epsilon_1, \dots, \epsilon_{p-1})^T$$

問題（P 3）が許容解を持つためには

$$\boldsymbol{\epsilon} \in E = \{\boldsymbol{\epsilon} \mid \exists \mathbf{x} \in X ; f_j(\mathbf{x}) \leq \epsilon_j, j = 1, \dots, p-1\}$$

の条件が必要である。 ϵ -制約法も①の加重と最小化手法と同様 $\boldsymbol{\epsilon}$ を外的に与えることになる。従って最適解は $\boldsymbol{\epsilon}$ の決め方に依存し、その点に問題点は集約される。

③ベクトル評価関数の最小化

多目的計画問題 (P1) は最終的には単一目的の最適化問題に変形して最適化しなければならないが、その過程は二つに分割できる。一つはパレート最適解 (非劣解) の集合を導出する過程、二つはそのうちから最適解を求める過程。通常前者を多目的計画問題、後者を多目的決定問題という。

パレート最適解の集合を導出する過程には二つの段階がある。まず最初は多目的計画問題をスカラー化し、スカラー目的関数を構成する段階である。すなわち

(P1)

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{x}} \mathbf{f}(\mathbf{x}) &= \begin{pmatrix} f_1(\mathbf{x}) \\ \vdots \\ f_p(\mathbf{x}) \end{pmatrix} \\ \text{条件} \quad \mathbf{x} \in X &= \{ \mathbf{x} \mid \mathbf{g}(\mathbf{x}) = \begin{pmatrix} g_1(\mathbf{x}) \\ \vdots \\ g_n(\mathbf{x}) \end{pmatrix} \leq \mathbf{0} \} \end{aligned}$$

X : 実行可能集合 \mathbf{x} : n 次元の意思決定変数

を次のようにスカラー最適化問題に変換する。

$$\min_{\mathbf{x}} V(f_1(\mathbf{x}), \dots, f_p(\mathbf{x}))$$

$$\text{条件} \quad \mathbf{x} \in X = \{ \mathbf{x} \mid \mathbf{g}(\mathbf{x}) \leq \mathbf{0} \} \quad (\text{P4})$$

この関数 $V(\mathbf{f}(\mathbf{x}))$, $V: \mathbb{R}^p \rightarrow \mathbb{R}^1$, は実数値をとり、多目的評価関数という。この関数の定め方にはいくつかの手法が開発されており、たとえば

- イ. 加重和最小化手法
- ロ. ラグランジェ制約法
- ハ. ϵ -制約法
- ニ. 最大成分最小化手法

などがある。

次に問題 (P4) に対してスカラー最適化問題を解き、パレート最適解の集合を求める段階である。これはたとえば上記イ. の加重和最小化手法の場合、重みづけ係数 \mathbf{w} を変化

させることによってパレート最適解の集合を求めることができる。

このようにして求められたパレート最適解の集合から特定の解（選好解）を導き出す過程が多目的決定問題である。このためには $f(x)$ 以外の評価基準を設定しなければならない。「パレート域の中から選好解を探索するということは、目的関数空間においてパレート最適である点のなかから、もっともよく意思決定者（DM）の選好に応ずる点を見出すことである。」（*4）この目的関数空間におけるDMの評価関数を超目的関数（*1）ともいう。いずれにせよ多目的決定問題は次のように定式化できる。

$$\min_x \Phi(f(x)) \quad (\text{注1}) \quad (P5)$$

$$\text{条件} \quad G(x) \leq 0$$

$$f(x) = \min_x f(x)$$

$$\text{条件} \quad g(x) \leq 0 \quad (P5')$$

ここに x は下位問題（P5'）の非劣解、 G は上位の制約式、 Φ は超目的関数。

さて選好解への接近は二とおりあり、一つは加重和最小化手法のような Φ の中の重み係数を固定する方法、二つは Φ の局所的情報を基に、対話的に選好解へ収束させる方法である。

前者にはパレート最適解を導出する際にあげた4つの手法がある。これらはいずれも重み係数 w もしくは制約条件式の値 ϵ を外的に与えるもので、つまりは選好解を求めることはある特定の値 w 、 ϵ を選択することに帰着する。さらに①、②で述べた手法はパレート域の導出を経ず、一気に特定の値 w 、 ϵ を付与することにより、目的関数をスカラー化したものであり、③ベクトル評価関数の最小化問題の特殊なケースと解される。

選好解への接近の二つ目の方法、つまり対話的に選好解へ収束させる方法には

イ。IFW法 (interactive Frank-Wolfe method)

ロ。SWT法 (surrogate worth trade-off method)

などがあり、さらに新しい対話型選好最適化手法が開発されている（*1）が、ここではこれ以上の議論はしない。

（注1）一般に Φ は $f \in R^p$ の関数とは限らないが、ここでは Φ は f の関数としている。

付 録 2

「下位レベルはN個の部分システムからなり、部分システムnはそれぞれ決定変数 \mathbf{x}_n 、目的関数 f_n 、制約条件 $\mathbf{g}_n \leq 0$ をもち、中央からパラメータ \mathbf{a}_n が与えられたもとで f_n を最小にするような \mathbf{x}_n を求めたい。ところが部分システム間には相互干渉があり、 f_n も \mathbf{g}_n も \mathbf{x}_n のみの関数ではなく、 $\mathbf{x} \equiv (\mathbf{x}_1^T, \dots, \mathbf{x}_N^T)^T$ の関数になっている。したがって下位レベルは、異なる目的と相互干渉をもつ部分システムの集合であり、与えられたパラメータのもとで部分システムが互いに協力して $\mathbf{x} \equiv (\mathbf{x}_1^T, \dots, \mathbf{x}_N^T)^T$ に関するベクトル目的関数 $\mathbf{f} = (f_1, \dots, f_N)^T$ の最小化を行う。その結果、 $\{\mathbf{a}_n\}$ に依存した \mathbf{x} の最良ベクトルすなわち非劣解（Pareto最適解）の集合を生成する。このとき、中央システムは超目的関数（選好目的関数） Φ に基づき、下位問題の最適なパラメータ $\mathbf{a}^0 = (\mathbf{a}_1^{0T}, \dots, \mathbf{a}_N^{0T})^T$ の値と、同時にこの \mathbf{a}^0 に対応する下位問題の非劣解集合の中から最良な非劣解（選好最適解） $\hat{\mathbf{x}}^0 = \hat{\mathbf{x}}_{\mathbf{a}^0}$ を選ぶ。このような問題は次のように定式化される。

$$\min_{\mathbf{a}, \hat{\mathbf{x}}(\mathbf{a})} \Phi(\mathbf{a}, \hat{\mathbf{x}}(\mathbf{a}))$$

$$\text{条件} \quad G(\mathbf{a}, \hat{\mathbf{x}}(\mathbf{a})) \leq 0$$

$$\begin{pmatrix} f_1(\hat{\mathbf{x}}(\mathbf{a}), \mathbf{a}) \\ f_N(\hat{\mathbf{x}}(\mathbf{a}), \mathbf{a}) \end{pmatrix} = \min_{\mathbf{x}} \begin{pmatrix} f_1(\mathbf{x}, \mathbf{a}) \\ f_N(\mathbf{x}, \mathbf{a}) \end{pmatrix}$$

$$\text{条件} \quad \mathbf{g}_1(\mathbf{x}, \mathbf{a}) \leq 0$$

$$\vdots$$

$$\mathbf{g}_N(\mathbf{x}, \mathbf{a}) \leq 0 \quad (*)5$$

ここで $\mathbf{x} = (\mathbf{x}_1^T, \dots, \mathbf{x}_N^T)^T$, $\mathbf{a} = (\mathbf{a}_1^T, \dots, \mathbf{a}_N^T)^T$,

$\hat{\mathbf{x}}(\mathbf{a})$: パラメトリック非劣解

問題 (P6) において Φ が $\mathbf{f}(\mathbf{x})$ と \mathbf{a} の関数、 G を利用可能な総資源量 \mathbf{b} の制約式として限定すると (P6) は次のように定式化できる。

$$\min_{\mathbf{a}, \hat{\mathbf{x}}(\mathbf{a})} \Phi(\mathbf{f}(\hat{\mathbf{x}}(\mathbf{a})), \mathbf{a})$$

$$\text{条件} \quad \sum_{n=1}^N \mathbf{a}_n \leq \mathbf{b} \quad (\mathbf{b}: \text{全資源量})$$

$$\mathbf{f}(\hat{\mathbf{x}}(\mathbf{a})) = \min_{\mathbf{x}} \mathbf{f}(\mathbf{x})$$

$$\begin{aligned} \text{条件} \quad & \mathbf{g}(\mathbf{x}) \leq \mathbf{a} \\ & \mathbf{x} \in X \end{aligned}$$

$$\text{ここに } \mathbf{f} = (f_1, \dots, f_N)^T, \mathbf{g} = (\mathbf{g}_1^T, \dots, \mathbf{g}_N^T)^T$$

\mathbf{x}_n : 部分システム n の生産レベル

\mathbf{a}_n : 部分システム n に配分される資源量

第8章 基本設計プロセスでの集合住宅設計の工事費計画の最適化

8.1 はじめに

集合住宅の企画・設計段階は大別して企画、基本設計、実施設計に分けることができる。第7章で論述したように各プロセスの進行に伴って当然のことながら経済性の評価がくり返し実施され、内容が詳細化される。

そのため各プロセスで提供され

る情報に応じて可能な限り迅速

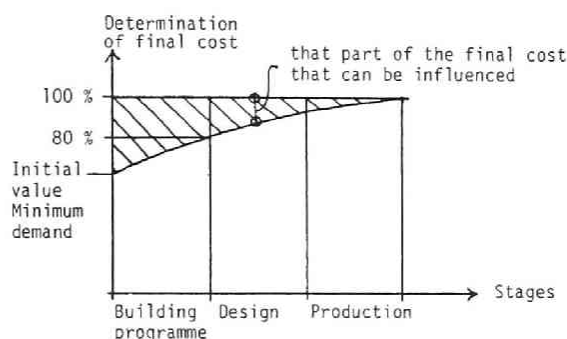


図8.1 Determination of final cost (±1)

で精度の高い概算工事費が算出されねばならない。J.Soderberg(*1)によれば基本設計プロセスにおいて最終コストの80%が決定されるとしており(図8.1)、その必要性は高い。ところが概算法、とりわけ基本設計プロセスの概算法には未だ整合性のある方法が開発されているとはいいがたい。整合性のある方法とは二つのことをいう。一つは目標誤差率に論理的に達する方法であること。二つは誤差率の判定基準が明確であること。そこで本章では誤差論を援用しつつ、基本設計プロセスでの概算法を開発、提案する。まず以下の各節の概要にふれた後、本節では誤差、精度の用語を整理しておく。8.2節では設計プロセスと概算の関係をフロー図で示し、既存の概算法を整理する。次に本論文における躯体数量概算の方法を略述するが、本概算法を躯体数量概算に限定した理由、型枠・鉄筋・鉄骨量をコンクリート量を介して概算することの妥当性にふれる。8.3節で躯体数量概算モデルの開発を行なう。まず躯体数量概算における誤差の問題を扱う。部分分割と誤差率の関係を誤差伝播の法則から論述し、全体誤差率と部分誤差率の相互関係を重率が異なる観測値の組合せ問題として考察する。次に重回帰分析による概算モデルを構築する。分析には段階的手法を使う。ここで概算モデルの算出結果の誤差率の判定(重回帰式の妥当性の検討)基準を明確にし、分析結果を示す。8.4節でモデルの適用範囲と適用例を示す。全体としては単回帰モデルよりも精度はよくなるが、必ずしも目標誤差率(本論文では7%)をすべてが満足するには至っていない。従って改善の余地があり、二つの方法を提案する。一つは誤差の大きい部分を細分化し、重回帰モデルを詳細化する方法で

8. 5節で扱う。二つは建築物のグルーピングをクラスター分析を利用して行うことにより、類似の建築物を論理的に分類する方法で8. 6節で扱う。各節で改善された概算モデルの適用例を示し、その考察を行う。8. 7節は本章のまとめである。

ここで誤差、誤差率、精度の用語を整理しておくことで以後の議論の混乱を避けたい。

JIS Z8101品質管理用語、ならびにJIS Z8103計測用語(* 2) による定義を採用する。

誤 差：測定値から真の値を引いた値。

誤差の真の値に対する比を誤差率という。

残 差：測定値からその期待値の推定値を引いた差。

精 度：計測器の表す値又は測定結果の正確さと精密さを含めた総合的な良さ。

正確さ：かたよりの小さい程度。

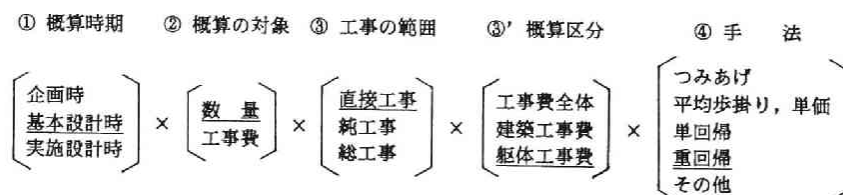
精密さ：ばらつきの小さい程度。

但し、真の値は求めることができないので観測誤差を論ずるときは観測値の平均を、概算法を論ずるときは実際の数量積算値を真の値とみなす。

8. 2 企画・設計段階での概算法

8. 2. 1 概算法の各種

概算法は大別して次の4つの要素の組合せによる。①概算時期、②数量、工事費、いずれか。③工事の範囲、さらに直接工事の中では概算区分、対象のとりあげ方(* 3)、④適用する手法(図8. 2)。



注) ③' 概算区分では対象のとりあげ方によって
下請別, 部分別, 空間別, 装置別, 工事別の方法
にわけられる。(* 3)

アンダーラインは本概算法の中心を示す。

図8. 2 概 算 法 の 種 類

ところで多変量解析手法を使った概算法はいくつか開発されており、西沢(* 4)、小泉(* 5)らの研究がある。いずれも重回帰分析を使ったものである。小泉のそれは数量概算で一般的な手順であるF検定により有意性の検討は実施されているが、目標とする誤

差率は明確でなく重回帰モデルを作成した段階に止まっている。西沢の概算法は工事費を直接算出するものである。「概案設計段階」（一般にいう企画と解される）で全体工事費の目標誤差率10%、部位科目別工事費のバラツキ度を変動係数の2倍とし、許容誤差率との大小関係でモデルの改善を判断するとしている。西沢の方法によれば重回帰モデルの残差のバラツキ度 $2 \times \mu$ は

$$2 \times \sqrt{(\text{残差平方和}) / (n - 1) / \bar{y}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

とする。但し n : サンプル数、 \bar{y} : 従属変数の値の平均値

残差は回帰推定値と実績値との差であるから、(1) 式のバラツキ度は個別プロジェクトの誤差を問題とするのではなく、事業体の全プロジェクトでの誤差を問題とする。端的にいえば経営者の立場での判断である。従って規模の小さいプロジェクトの誤差及び誤差率はさほど問題とならない。全体への影響が小さい。

しかし基本設計プロセスで概算モデルを使用するのは個別具体のプロジェクトであり、その場合プロジェクトの規模の大きさを問わず、一定の精度が要求され、誤差率のバラツキを小さくしなければならない。

さて企画、基本設計、実施設計の各プロセスで提供される情報の種類と詳細の程度の点で必要で且つ十分な条件の社会的合意は成立していない。（＊6）従って個別の事例を参考にせざるを得ない。ここでは1つの事業主体の例で集合住宅の躯体数量に限定して概算法の方法論を展開する。躯体数量に限定する理由は後述する。当該事業主体における設計プロセスと概算との関係を図8.3に示す。

（次頁注1）

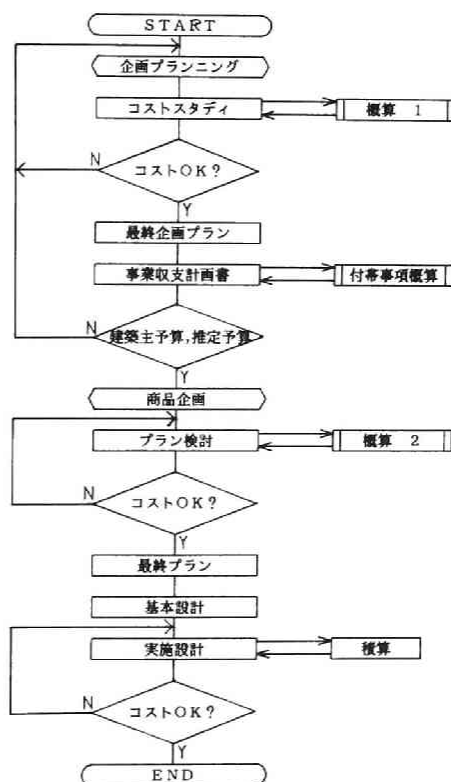


図8.3 設計プロセスと概算

8. 2. 2 本研究での概算法

本概算法の目的は端的には「躯体コンクリート量でもって他の躯体数量を推定する」ことにある。この目的には二つの限定がある。一つは概算の範囲を躯体数量に限定。他の一つは型枠、鉄筋、鉄骨の諸量を直接概算するのではなく、躯体コンクリート量を算出した後にそれを使って推定するという手法の限定。

躯体数量に限定した理由は下記のとおり。

(1) 基本設計プロセスでの概算工事費は次のプロセスでの目標工事費になる可能性が高く、その場合誤差率は0に近づくようにみえる。誤差率の定義と操作性の問題である。

(2) 仕上、設備工事にはいくつかのグレードがある。グレードを一体化するにせよ分割するにせよその推計には相当程度の誤差が生ずる。また仕上工事は数量を概算し、単価を掛けて工事費を算出する積み上げ方式よりもむしろ当該工事費を全体工事費から割り付ける方式がなじむ。経験豊富な工事程そうである。端的に言えば躯体を除けば残金は工事費割り付け方式で決定できる。

(3) 物価変動、技術変化に影響されることが工事費に比べ少ない。躯体工事に限ってもたとえばコンクリート打設がコンクリートタワーによるか、ポンプ車か。あるいは鉄筋は先組み、現場組みいずれか。など工事費では大きく異なるが躯体数量ではその差は少ない。

(4) データの入手性がよい。統計的処理を行う場合一定程度の量のデータが必要であるが、工事費の場合地域、年度の差があるために入手できるデータは極端に少ない。地域、年度の補正を行なったとすればそこに誤差が入る可能性が高い。躯体数量の場合これらの問題はなく、新耐震等構造計算基準が改正された場合のみ注意を要する。

一方、躯体コンクリート量を算出した後に型枠、鉄筋、鉄骨量を推計する理由は次のとおり。

(1) 躯体コンクリート量は型枠、鉄筋、鉄骨量に比べ推計が容易である。

(2) 躯体コンクリート量と型枠、鉄筋、鉄骨量には高い相関関係があるため、躯体コンクリート量から型枠、鉄筋量等を推計することが可能である。(※7)

本概算法(概算1)の概要を以下に摘記する。

〈手順1〉

(注1) 図8. 3によれば、本研究の概算1モデルは企画プランニングのプロセスに位置づけられているが、情報の量と質において一般的には基本設計プロセスとした方がなじむため、ここでは基本設計プロセスとした。

建物規模、建物形状を表すデータ ($V_1 \sim V_m$) を入力する。入力是对話型、主としてコード番号による。

〈手順2〉

コンクリート量を概算する。概算1では断面決定が未だなされておらず、入力できない場合が多い。そのためフレームの応力を概算し、柱、梁断面を内生させる。コンクリート量は四隅を柱で囲まれた1層分のグリッド毎に部位別に算出する。

(算出結果を $\{C_1\}$ とする。)

〈手順3〉

$V_1 \sim V_m$, $\{C_1\}$ を使って型枠、鉄筋、鉄骨量を概算する。この場合にあらかじめコンクリート量と型枠、鉄筋、鉄骨の各量の重回帰分析を行なって、最良回帰式を求めておく。(最良回帰式は段階的手法により求めた。本研究は主としてこの部分を中心課題としている。) この重回帰式を使った概算法をモデル1とする。

〈手順4〉

手順2, 3で求められたコンクリート量、型枠量、鉄筋量、鉄骨量、を単価の違い等により、部分別に工事費を算出する。但し本論文ではこの部分は含まれていない。

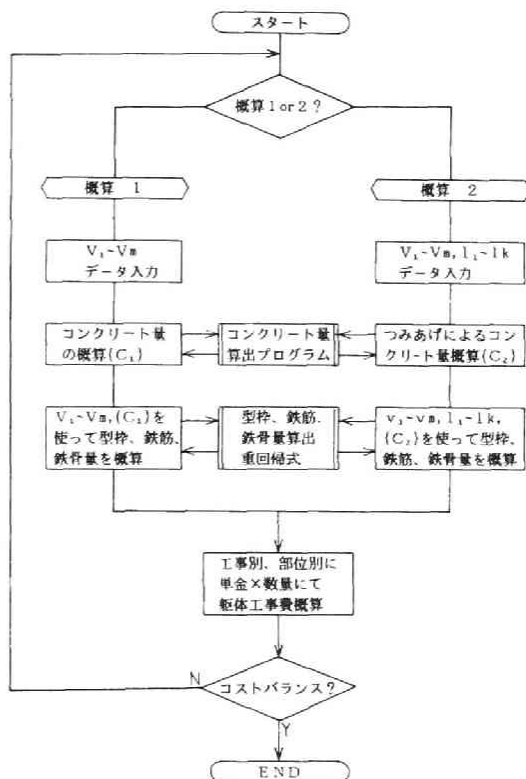


図8.4 躯体数量概算法

表8.1 入力情報

| | | |
|--------|------------------------|-------------------------------|
| 概算 1 | 建物規模データ | 構造種別、戸数、スパン数、階数、スパン長、延床面積 |
| | 建物形状データ | 柱、梁、床、壁、廊下、バルコニー、周長、基準階面積、隅柱率 |
| 付帯工事概算 | 建築関係費(杭、浄化槽) | |
| | 用地関係費(用地取得、公租公課、金利) | |
| | 環境整備費(電波障害、近隣対策、開発許可等) | |
| 概算 2 | 概算1のデータ、部材断面データ(柱、梁等) | |
| | 雑データ(外部階段、塔屋等) | |

以上の手順をフローチャートで示す。(図8.4)なお同図には概算2のフローも参考のため同時に記入した。概算2は基本設計プロセスの最終段階で一定程度断面寸法、壁開口等が決定された時点で行なうものである。その手順は概算1に準じたものである。入力情報は表8.1のとおり。

8.3 多変量解析による概算モデルの開発

8.3.1 躯体数量概算と誤差

(1) 部分分割と誤差

躯体数量を概算する場合、どの程度細かく分割すればよいかは当該部分に許される誤差と全体誤差との関係如何である。

観測値の函数に対する誤差伝播関係によれば(*8)、

Z_1, Z_2, \dots, Z_n : 直接観測

$F = f(Z_1, Z_2, \dots, Z_n)$: 求める量

とすれば、 Z_i の観測に δZ_i なる誤差があるとき、 F に波及する誤差 δF は

$$\delta F = \frac{\partial f}{\partial Z_1} \delta Z_1 + \frac{\partial f}{\partial Z_2} \delta Z_2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial Z_n} \delta Z_n$$

と表される。さらに二乗平均誤差を考えると

$$\Sigma (\delta F)^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial Z_1} \right)^2 \Sigma (\delta Z_1)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial Z_2} \right)^2 \Sigma (\delta Z_2)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial Z_n} \right)^2 \Sigma (\delta Z_n)^2 \quad (2)$$

今、 Z_i, F の二乗平均誤差を μ_i, μ とすると(2)式は次のように表される。

$$\mu^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial Z_1} \right)^2 \mu_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial Z_2} \right)^2 \mu_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial Z_n} \right)^2 \mu_n^2 \quad (3)$$

さて、躯体数量概算の場合には各部分の数量を Z_1, Z_2, \dots, Z_n とすれば、求める数量 F は、

$$F = a_1 Z_1 + a_2 Z_2 + \dots + a_n Z_n$$

で表せる。これを(3)式にあてはめると

$$\mu^2 = a_1^2 \mu_1^2 + a_2^2 \mu_2^2 + \dots + a_n^2 \mu_n^2 \quad (4)$$

今、

$$\frac{\sqrt{\sum (\delta F)^2 / N}}{F} = T, \quad \frac{\sqrt{\sum (\delta Z_i)^2 / N}}{Z_i} = t_i$$

とおき、 $a_i Z_i$ の F に占める割合を $C_i = a_i Z_i / F$ とすると、

$$a_i = \frac{F C_i}{Z_i}$$

a_i を (4) 式に代入すると

$$\mu^2 = \frac{F^2 C_1^2}{Z_1^2} \mu_1^2 + \frac{F^2 C_2^2}{Z_2^2} \mu_2^2 + \dots + \frac{F^2 C_n^2}{Z_n^2} \mu_n^2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

μ_i , μ は Z_i , F の二乗平均誤差であるから

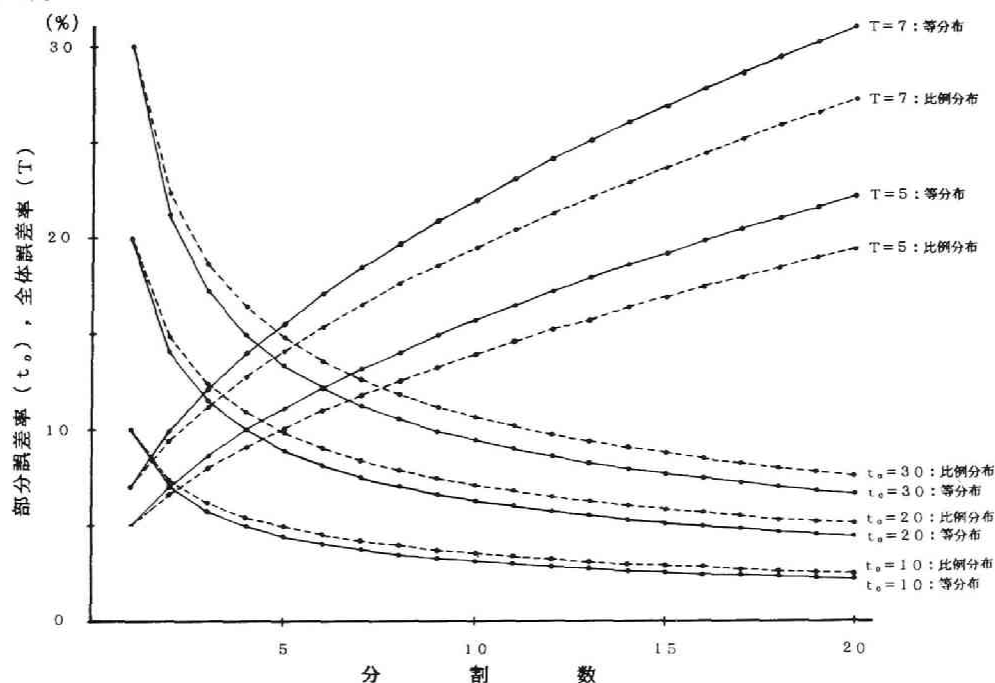
$$\mu^2 = \frac{\sum (\delta F)^2}{N}, \quad \mu_i^2 = \frac{\sum_{k=1}^N (\delta Z_{ik})^2}{N} \quad N: \text{観測回数} \quad \dots\dots\dots (6)$$

(6) 式を (5) 式に代入して整理すると

$$T^2 = C_1^2 t_1^2 + C_2^2 t_2^2 + \dots + C_n^2 t_n^2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

を得る。

(6) 式は各部分の誤差率 t_i , 構成比 C_i とした時の全体数量下に及ぼす誤差率を示している。



等分布とは各部分の構成比 C_i が等しいこと
比例分布とは各部分の構成比 C_i が比例関係にあることをいう

図8.5 部分分割と誤差率の関係

仮に各部分に同じ誤差率 t_0 が許されるとすると

$$T^2 = C_1^2 t_0^2 + C_2^2 t_0^2 + \cdots + C_n^2 t_0^2 = (C_1^2 + C_2^2 + \cdots + C_n^2) t_0^2$$

$$\therefore t_0 = T / \sqrt{C_1^2 + C_2^2 + \cdots + C_n^2}$$

つまり全体誤差率 T が一定で各部分の誤差率が等しい場合には、細分化すればするほど各部分に許される誤差率は大きくなる。逆に同じ誤差率ならば細分化した方が全体の誤差率はよくなる。(図 8. 5)

(2) 全体誤差と部分誤差

各部分で算出される躯体数量は個別にはさほど重要ではなく、それらが累積され、全体数量としてどの程度の誤差になるかが問題となる。つまり全体での誤差率を一定程度許容した場合に各部分で許される誤差率がどの程度かを決定しなければならない。

一瀬 (* 8) は重率 (weight) が異なる観測値の組合せを次のように考える。

「すなわちある観測が基準とする他のある観測の p 回分の平均値に相当する価値がある」とみると、その p をその観測または観測値の重率と呼ぶ。基準とした観測は重率が 1 であるわけである。

重率がそれぞれ p_1, p_2, \dots, p_n なる各観測値を Z_1, Z_2, \dots, Z_n とするとき、重率 1 なる基準観測に引き直して考えれば全観測回数は $\sum p_i$ に当たり、各 $p_i Z_i$ はそれぞれ重率 1 なる観測値の P_i 回分の和に当たるから、全部の算術平均値

$$\bar{Z} = \frac{p_1 Z_1 + p_2 Z_2 + \cdots + p_n Z_n}{p_1 + p_2 + \cdots + p_n} = \frac{[p Z]}{[p]}$$

がこの場合の最確値であって、いわゆる附重平均 weighted mean である。」

重率 1 である基準観測の二乗平均誤差を S とすれば

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N p_k (\delta Z_k)^2}{N}}$$

従って重率が p_i である観測の二乗平均誤差 S_i は

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N p_k (\delta Z_k)^2}{p_i N}} = S / \sqrt{p_i} \quad \cdots \cdots \cdots (8)$$

となる。

同様にして基準観測の誤差率を t とすれば、重率 p_i のある観測の誤差率 t_i は、

$$t_i = t / \sqrt{p_i} \quad \dots\dots\dots (9)$$

で表される。躯体数量概算の場合、構成比 C_i の大きい部分が全体に及ぼす影響が大きい。つまり価値が高いと考え、その重率は構成比の割合で表されるとする。たとえば構成比 C_i の C_k に対する重率は C_i / C_k 。

ここに $C_k = \min_i \{C_i\} = 1 / \beta$ とすると

$$p_i = C_i / C_k = \beta C_i \quad \dots\dots\dots (10)$$

で表される。(9)、(10) 式を (7) 式に代入すると

$$\begin{aligned} T^2 &= C_1^2 t_1^2 + C_2^2 t_2^2 + \dots\dots + C_n^2 t_n^2 \\ &= C_1^2 \frac{t^2}{\beta C_1} + C_2^2 \frac{t^2}{\beta C_2} + \dots\dots + C_n^2 \frac{t^2}{\beta C_n} \\ &= \frac{t^2}{\beta} (C_1 + C_2 + \dots\dots + C_n) = \frac{t^2}{\beta} \\ \therefore t &= T \sqrt{\beta} \quad \dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

(10)、(11) 式を (9) 式に代入して

$$t_i = T / \sqrt{C_i} \quad \dots\dots\dots (12)$$

を得る。(12) 式は全体の誤差率 T を一定にした場合各部分に許容される誤差率 t_i が当該部分の構成比の平方根に反比例することを示している。 t_i を許容誤差率と呼ぶ。

8. 3. 2 重回帰分析による概算モデル

(1) 部分分割と説明変数

概算工事費の変動要因は図 8. 6 のとおり多岐にわたる。この中から躯体数量概算の重回帰分析に有効な説明変数を選択しなければならない。

説明変数の選定基準は一般に次のものが知られている。(※ 9)

- a. 目的変数の変動をよく説明できるもの
- b. 操作、測定のしやすいもの

c. 説明変数間の相関関係があまり大きくないもの

しかし a. の目的変数の変動をよく説明できるものが概算の分野ではそれほど明らかにされているとはいえず、今後の検討のためも含めて今回は 24 の説明変数を取りあげた。

本概算法での部分分割と選定した説明変数を図 8. 7, 表 8. 2 に示す。

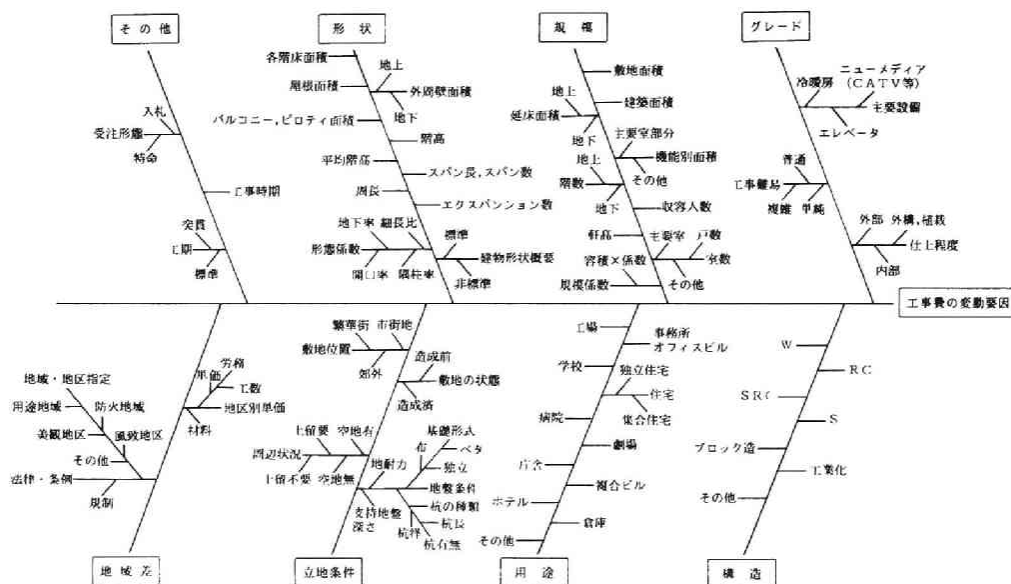


図 8. 6 工事費の変動要因

(2) 分析サンプルの
分類

分析対象サンプルは、構造設計に新耐震法を採用した SRC造、RC造の集合住宅 89 件である。それらを 4 グループに分類した。その建物規模、形状、サンプル数は表 8. 3 のとおり。

| 部分 | 下部躯体 | | 上部躯体 | | | | | | | 計 |
|--------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| | 基礎 | 地中梁 | 柱 | 梁 | 壁 | 床 | 片持床 | スリープ補強 | その他 | |
| コンクリート | ○ (10.6) | ○ (7.2) | ○ (10.2) | ○ (22.9) | ○ (14.3) | ○ (23.4) | ○ (10.1) | — | ○ (1.3) | ○ (100) |
| 型枠 | ○ (2.0) | ○ (5.5) | ○ (7.0) | ○ (19.0) | ○ (32.0) | ○ (23.8) | ○ (9.2) | — | ○ (1.5) | ○ (100) |
| 鉄筋 | ○ (2.8) | ○ (7.2) | ○ (9.9) | ○ (27.1) | ○ (15.9) | ○ (20.3) | ○ (11.3) | ○ (2.5) | ○ (3.0) | ○ (100) |
| 鉄骨 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | ○ (100) |

注 () 内数字は数量割合

図 8. 7 部分分割 (SRC標準型の例)

表8.2 説明変数リスト

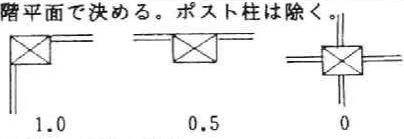
| | | |
|-----------------|------------|---|
| X ₁ | 本体面積 | 建物本体の延床面積(外部階段も含む)よりバルコニー面積を減らした面積。 |
| X ₂ | 階数 | その棟の最高階数。 |
| X ₃ | 1Fスパン数 | スパン数とは、住戸の数+エントランスホール+管理人室+電気室、集会室、ポンプ室(別棟は除く)である。 |
| X ₄ | 総スパン数 | |
| X ₅ | EXP.数 | エクスパンションの数。 |
| X ₆ | 基準階柱本数 | EVシャフト廻り等のポスト柱は除く。 |
| X ₇ | 周長 | 基準階の外周通り芯長さの合計。 |
| X ₈ | 平均階数 | $X_8 = X_4 \div X_3$ |
| X ₉ | 基準階フレーム内面積 | 基準階平面において、外周通り芯で囲まれた面積。 |
| X ₁₀ | 細長比(1) | $X_{10} = X_8 \div X_9 \times 10^5$ |
| X ₁₁ | 細長比(2) | $X_{11} = X_7 \div X_9 \times 10^4$ |
| X ₁₂ | 隅柱率 | <p>基準階平面で決める。ポスト柱は除く。</p>  <p>上記係数の合計で表す。</p> |
| X ₁₃ | 基礎 | コンクリート量 |
| X ₁₄ | 地中梁 | " |
| X ₁₅ | 柱 | " |
| X ₁₆ | 梁 | " |
| X ₁₇ | 壁 | " |
| X ₁₈ | 床 | " |
| X ₁₉ | 片持床 | " |
| X ₂₀ | 上部躯体 | " |
| X ₂₁ | 基礎+地中梁 | " |
| X ₂₂ | トータル | " |
| X ₂₃ | 柱+梁 | " |
| X ₂₄ | 梁+地中梁 | " |

表8.3 サンプルの分類と適用範囲

| | RC造 | | SRC造 | |
|---------------------------|--------------|--------------|----------------|---------------|
| | 標準型 | 非標準型 | 標準型 | 非標準型 |
| 階数 (階) | 3~7 | 1~6 | 7~14 | 6~15 |
| 延床面積 (m ²) | 250~ 7600 | 400~ 4600 | 1300~ 26000 | 1150~ 7450 |
| サンプル数 (件) | 12 | 10 | 42 | 25 |

(標準型とは2本柱開放廊下型で且つ平面形状に凹凸の無いものを指す。)

(3) 段階的手法による重回帰分析

重回帰分析の最良回帰式の選定には段階的手法を適用した。その一部を以下に例示する。但し、説明変数は6変数に限定して説明している。

* 分析対象…SRC

造標準型・鉄骨量

〈手順0〉

鉄骨量 Y_s と全説明変数との単相関マトリックス (表8.4) を求め、 Y_s と最も単相関の高い変数 X_{23} を選定する。

〈手順1〉

変数 X_{23} との単回帰式を求め、変数の追加、除去基準をそれぞれ t -分布の5%点にとって検定を行なう。有意であるので変数 X_{23} を取り入れる。

〈手順2〉

変数 X_{23} とこれ以外の変数 $X_1, X_2, X_5, X_8, X_{15}$ との重回帰式

表8.4 単相関マトリックス

Y_s … テッポウツリョウ
 X_1 … ホンタイメンセキ X_5 … Exp. スウ X_{15} … コンクリートリョウ (ハシラ)
 X_2 … カイスウ X_8 … ヘイキンカイスウ X_{23} … コンクリートリョウ (ハシラ+ハリ)

| | 1 | 2 | 5 | 8 | 15 | 23 | Y_s |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 1.000 | | | | | | |
| 2 | 0.579 | 1.000 | | | | | |
| 5 | 0.806 | 0.238 | 1.000 | | | | |
| 8 | 0.588 | 0.980 | 0.245 | 1.000 | | | |
| 15 | 0.988 | 0.612 | 0.798 | 0.620 | 1.000 | | |
| 23 | 0.997 | 0.585 | 0.816 | 0.593 | 0.996 | 1.000 | |
| Y_s | 0.990 | 0.627 | 0.824 | 0.630 | 0.992 | 0.995 | 1.000 |

表8.5 段階的手法の手順

| | 説明変数 | 偏回帰係数 | 標準偏回帰係数 | t 値 | F 値 | 検定 | R |
|-----|----------|----------|---------|--------|--------|----|-------|
| 手順1 | X_{23} | 0.1993 | 0.9949 | 62.062 | | ○ | |
| | b_0 | -0.0913 | | | 3851.7 | | 0.995 |
| 手順2 | X_{23} | 0.2551 | 1.2735 | 6.642 | | ○ | |
| | X_1 | -0.0090 | -0.2795 | 1.458 | | | |
| | b_0 | -0.0376 | | | 1981.4 | | 0.995 |
| | X_{23} | 0.1912 | 0.9548 | 5.695 | | ○ | |
| | X_2 | 4.4490 | 0.0684 | 4.076 | | ○ | |
| | b_0 | -37.9531 | | | 2685.9 | | 0.996 |
| | X_{23} | 0.1935 | 0.9662 | 35.086 | | ○ | |
| | X_5 | 7.9216 | 0.0351 | 1.276 | | - | |
| | b_0 | 3.3471 | | | 1957.0 | | 0.995 |
| | X_{23} | 0.1919 | 0.9583 | 54.542 | | ○ | |
| | X_8 | 3.9495 | 0.0617 | 3.513 | | ○ | |
| | b_0 | -32.3359 | | | 2477.8 | | 0.996 |
| 手順3 | X_{23} | 0.1620 | 0.8087 | 4.782 | | ○ | |
| | X_{15} | 0.1203 | 0.1872 | 1.107 | | | |
| | b_0 | 0.4756 | | | 1938.3 | | 0.995 |
| | X_{23} | 0.2394 | 1.1953 | 7.307 | | ○ | |
| | X_2 | 4.3541 | 0.0669 | 4.042 | | ○ | |
| | X_1 | -0.0077 | -0.2402 | 1.476 | | - | |
| | b_0 | -37.0906 | | | 1846.4 | | 0.997 |
| | X_{23} | 0.1677 | 0.8374 | 33.809 | | ○ | |
| | X_2 | 7.1562 | 0.1099 | 7.464 | | ○ | |
| | X_5 | 25.7253 | 0.1141 | 5.519 | | ○ | |
| | b_0 | -49.8176 | | | 3153.5 | | 0.998 |
| | X_{23} | 0.1917 | 0.9572 | 56.988 | | ○ | |
| 手順4 | X_2 | 9.5078 | 0.1461 | 2.168 | | ○ | |
| | X_8 | -5.1680 | -0.0808 | 1.191 | | - | |
| | b_0 | -38.8044 | | | 1810.4 | | 0.997 |
| | X_{23} | 0.2002 | 0.9994 | 64.943 | | ○ | |
| | X_2 | 4.5842 | 0.0704 | 3.828 | | ○ | |
| | X_{15} | -0.0295 | -0.0459 | 0.291 | | | |
| | b_0 | -39.2266 | | | 1748.7 | | 0.996 |
| | X_{23} | 0.1867 | 0.9319 | 6.851 | | ○ | |
| | X_2 | 7.0405 | 0.1082 | 7.191 | | ○ | |
| | X_5 | 24.9688 | 0.1108 | 5.186 | | ○ | |
| | X_1 | -0.0290 | -0.0905 | 0.703 | | | |
| | b_0 | -49.1401 | | | 1748.7 | | 0.996 |
| 手順5 | X_{23} | 0.1685 | 0.8411 | 33.734 | | ○ | |
| | X_2 | 10.6406 | 0.1635 | 3.199 | | ○ | |
| | X_5 | 25.2813 | 0.1121 | 5.417 | | ○ | |
| | X_8 | -3.6094 | -0.0564 | 1.094 | | - | |
| | b_0 | -50.2053 | | | 2336.3 | | 0.998 |
| | X_{23} | 0.1653 | 0.8252 | 6.841 | | ○ | |
| | X_2 | 7.1255 | 0.1095 | 6.995 | | ○ | |
| 手順6 | X_5 | 25.7737 | 0.1143 | 5.435 | | ○ | |
| | X_{15} | 0.0081 | 0.0125 | 0.105 | | | |
| | b_0 | -49.4883 | | | 2304.6 | | 0.998 |

をそれぞれ求め、最も F 値の大きい組を選定する。選定した変数の組 (X_{23} , X_2) より求めた重回帰式の t 値は共に有意であるので変数 X_2 を取り入れる。

〈手順 3〉

変数 X_{23} , X_2 にさらに X_1 , X_5 , X_8 , X_{15} を 1 つずつ追加した重回帰式を求め、最も F 値の大きい組を選定する。選定した変数の組 (X_{23} , X_2 , X_5) の各 t 値は有意であるので変数 X_5 を取り入れる。

〈手順 4〉

X_{23} , X_2 , X_5 の重回帰式に同様にして X_1 , X_8 , X_{15} を追加して考える。この段階では追加した変数の t 検定で有意となる変数は無いので、この段階で計算を打ち切る。従って求める最良回帰式は、

$$Y_e = 0.1677 X_{23} + 7.1562 X_2 + 25.7253 X_5 - 49.8176$$

となる。 Y_e に対する各変数の寄与の程度は、標準偏回帰係数の大小で決定される。この例の場合、 X_{23} , X_5 , X_2 の順序となる。

以上の手順を表 8. 5 に示す。

8. 3. 3 重回帰式の妥当性の検討

重回帰分析において求められる最良回帰式は説明変量をできる限り少なくし、観測値と予測値の差の平方和（残差平方和）を小さくするため、一定の手続きを経て得られる。しかし求めた最良回帰式は一定の危険率を許容できるならば有意であることが表明されるにすぎず、そこにはなお残差が存在する。従って実用のためには残差が先の許容誤差内にあるか否かの検討をしなければならない。いま

y_j : j サンプルの実績値

Y_j : j サンプルの回帰推定値

j : サンプル (1 ~ n)

e_j : j サンプルの誤差率

とすると e_j は

$$e_j = \frac{y_j - Y_j}{y_j}$$

で表され、その平均値 m 、標準偏差 σ は

$$m = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{y_j - Y_j}{y_j}}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \frac{(e_j - m)^2}{y_j}}{n - 1}}$$

ここで重回帰分析の仮定より残差の平均は 0 である。さらに e_j が正規分布に従うとすれば、

$$[-2\sigma, 2\sigma]$$

の範囲内に約 95% のサンプルが存在することになる。この 2σ をモデル 1 の許容誤差率の限界とする。

従って先の許容誤差率 t_i を用いて

$$2\sigma \leq t_i$$

が各部分について成立しなければならない。

成立しない場合は当該部分の最良回帰式を説明変数、部分分割の再検討などによってさらに改良しなければならない。

8.3.4 分析結果とその考察

分析結果を表 8.3 に示したグループ別に表 8.6、8.7 および図 8.8 に示す。簡単に図表の説明をしておく。

表 8.6 は躯体数量要因分析表で、枠内の数値、 2σ 、 t_i はそれぞれ次のことを意味している。

- (1) 説明変数……最良回帰式に取り込まれた各変数を寄与の程度の大きい変数から順に番号表示。
- (2) 観測誤差率 (2σ) ……求められた最良回帰式による誤差率の標準偏差 (σ) の 2 倍。
- (3) 許容誤差率 (t_i) ……型枠、鉄筋、鉄骨共全体量の許容誤差率を 7% とし、 i 部分の許容誤差率 t_i は、

$t_i = 7/\sqrt{C_i}$, C_i : i 部分の全体量に占める重量比

表 8. 7 は観測誤差率の比較表で、その算出方法は次のとおり。

型枠、鉄筋、鉄骨の各全体量を三つの異なる分割方法により求める。三つの方法とは

(1) 全体量の回帰式による。(1) による推定値を以下“トータル推定値”と略す。)

表 8. 6-1 鉄骨量要因分析表

| 部分 | 分類 | 説明変数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | R ² | 2σ | t _i |
|----|--------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------------|-------|----------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | | | |
| 鉄骨 | SRC RG | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.996 | 13.40 | 7.00 |
| | IRG | | | | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | 2 | | 1 | | | 0.970 | 24.62 | 7.00 |

表 8. 6-2 型枠量要因分析表

| 部分 | 分類 | 説明変数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | R ² | 2σ | t _i |
|------|--------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------------|-------|----------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | | | |
| 基礎 | SRC RG | | | 3 | | | | | | 4 | | | | | 1 | | | | | | | | 2 | | | 0.976 | 33.82 | 49.00 |
| | IRG | | | | | | | | | | | | | 2 | 1 | 3 | | | | | | | | | | 0.803 | 84.81 | 50.51 |
| | RC RG | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | | | 1 | | | | 0.996 | 15.20 | 45.75 |
| | IRG | | | | | | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | 0.985 | 12.20 | 45.55 |
| 地中梁 | SRC RG | | | 2 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 0.997 | 7.44 | 29.89 |
| | IRG | | | | | | | | | 1 | | | | | 2 | | | | | | | | | | | 0.900 | 31.04 | 28.75 |
| | RC RG | | | | | | | | | | | | | | 1 | 2 | | | | | | | | | | 0.999 | 11.28 | 25.01 |
| | IRG | | | | | 2 | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 0.996 | 7.44 | 22.49 |
| 柱 | SRC RG | | | | | | | 2 | 3 | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 0.998 | 9.20 | 26.37 |
| | IRG | | | | 3 | | | | | | | | 2 | | 1 | | | | | | | 4 | | | | 0.996 | 8.04 | 25.53 |
| | RC RG | | | | | | | | | | | | 3 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | 1.000 | 4.92 | 27.21 |
| | IRG | | | | | | | 3 | | | | 2 | | 1 | | | | | | | | 4 | | | | 1.000 | 3.20 | 25.55 |
| 梁 | SRC RG | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 2 | | | | | 1.000 | 3.10 | 16.04 |
| | IRG | 2 | | | 3 | | | | | | | | | | | 4 | 1 | | | | | | | | | 1.000 | 2.80 | 16.25 |
| | RC RG | | | 3 | | | | | | | | | | | | 1 | 2 | | | | | | | | | 1.000 | 3.86 | 16.91 |
| | IRG | | | | | | | | | | | 2 | | | | 1 | | | | | | | | | | 0.999 | 4.92 | 16.66 |
| 壁 | SRC RG | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | 2 | | | | | | | | 0.998 | 5.56 | 12.37 |
| | IRG | | | | | | | | | | | | 4 | | | 1 | 3 | | | | 2 | | | | | 0.998 | 6.60 | 12.40 |
| | RC RG | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 2 | | | | | | 0.999 | 6.12 | 12.96 |
| | IRG | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | 2 | | | | | | | | 1.000 | 6.56 | 13.56 |
| 床 | SRC RG | | | | | | | | | | | | | 3 | | | 1 | 2 | | | | | | | | 0.999 | 5.02 | 14.33 |
| | IRG | | | | | | | | | 3 | | | | | | | | 1 | 2 | | | | | | | 0.999 | 3.04 | 14.71 |
| | RC RG | 2 | | | | 4 | | | | | | | | | | | 3 | 1 | | | | | | | | 1.000 | 6.52 | 14.16 |
| | IRG | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 0.999 | 2.60 | 14.37 |
| 片持床 | SRC RG | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1.000 | 1.96 | 23.12 |
| | IRG | 2 | | | | | | | | | | | | 3 | | | | | | | 1 | | | | | 0.981 | 25.72 | 22.97 |
| | RC RG | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 0.999 | 8.02 | 22.97 |
| | IRG | | | 2 | | | | | | | | | | | | 3 | | | | | | 1 | | | | 1.000 | 3.30 | 22.97 |
| 上部躯体 | SRC RG | | | 4 | | | | | | | | | | | 5 | | 2 | 3 | 1 | | | | | | | 1.000 | 2.42 | 7.26 |
| | IRG | | | | | | | 3 | | | | | | | | | 2 | | 4 | 1 | | | | | | 0.999 | 4.62 | 7.28 |
| | RC RG | 2 | | | | 3 | 4 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | 1.000 | 2.66 | 7.37 |
| | IRG | | | | | | 4 | | | | | | | | | 2 | 3 | | | 1 | | | | | | 1.000 | 7.24 | 7.46 |
| 下部躯体 | SRC RG | | | 3 | | | | | 4 | | | 2 | | | | | | | | | | 1 | | | | 0.994 | 9.66 | 25.52 |
| | IRG | | | 2 | | | | | 3 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 0.902 | 24.14 | 24.99 |
| | RC RG | | | | | | | | | | | | | 1 | 3 | | | | | | | 2 | | | | 0.999 | 7.70 | 21.95 |
| | IRG | | | | 2 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 0.996 | 7.34 | 20.16 |
| トータル | SRC RG | | | 5 | | | | | | | | | | | | 2 | 4 | 1 | 3 | | | | | | | 1.000 | 2.34 | 7.00 |
| | IRG | | | | | | 2 | | | | | | | | | 3 | | 1 | | | | | | | | 0.998 | 5.00 | 7.00 |
| | RC RG | 3 | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | 1 | | | | 1.000 | 4.48 | 7.00 |
| | IRG | | | 3 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | 0.999 | 2.72 | 7.00 |

- (1) 説明変数………最良回帰式に取り込まれた各変数を寄与の程度の大きい変数から順に番号表示
- (2) 観測誤差率(2σ)……求められた最良回帰式による誤差率の標準偏差(σ)の2倍
- (3) 許容誤差率(t_i)……型枠、鉄筋、鉄骨共全体量の許容誤差率を7%とし、i 部分の許容誤差率 t_i は $t_i = 7/\sqrt{C_i}$, C_i : i 部分の全体量に占める重量比

表8.6-3 鉄筋量要因分析表

| 部分 | 分類 | 説明変数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | R ² | 2σ | t _i | | | |
|------|--------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------------|----|----------------|-------|--------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | | | | | | |
| 基礎 | SRC RG | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | 2 | | | | | 0.887 | 65.49 | 41.52 | |
| | IRG | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 0.526 | 180.66 | 42.12 |
| | RC RG | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 0.987 | 42.04 | 43.16 |
| | IRG | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | 0.834 | 108.04 | 42.67 |
| 地中梁 | SRC RG | | | | | | | 2 | | | | | | | 1 | | | | | | | | 3 | | | | | 0.986 | 15.06 | 26.16 | |
| | IRG | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 0.866 | 25.30 | 24.09 |
| | RC RG | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 0.993 | 18.18 | 22.48 |
| | IRG | | | | | | | | | 2 | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 0.972 | 16.66 | 22.75 |
| 柱 | SRC RG | | | | 2 | | | | | | | | | | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | 0.989 | 21.22 | 22.23 | |
| | IRG | | | | | | | | | | | | | | 4 | 1 | 2 | 3 | | | | | | | | | | | 0.977 | 17.22 | 21.40 |
| | RC RG | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 2 | | | | | | 3 | | | | | | 0.999 | 5.66 | 19.61 |
| | IRG | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 0.981 | 35.04 | 18.35 |
| 梁 | SRC RG | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | 2 | | | | | 0.997 | 11.46 | 13.44 | |
| | IRG | | | | | | 3 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | 2 | | | | | 0.993 | 12.72 | 13.66 |
| | RC RG | | | | | | | | 3 | | | | | | | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | 0.999 | 20.48 | 13.70 |
| | IRG | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 0.989 | 15.46 | 13.56 |
| 壁 | SRC RG | | | | | | | | | | | | | | | 2 | | 1 | | | | | | | | | | | 0.997 | 9.32 | 17.57 |
| | IRG | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | 1 | | | | | | | | | | | 0.985 | 18.02 | 17.40 |
| | RC RG | 2 | | | | | | | | | | | | | | 3 | | | 1 | | | | | | | | | | 0.999 | 10.08 | 19.26 |
| | IRG | | | | | | | | | | | | | | | 2 | | 1 | | | | | | | | | | | 0.995 | 14.70 | 19.82 |
| 床 | SRC RG | | | 3 | | | | | | | | | | | | | 2 | | 1 | | | | | | | | | 0.999 | 8.36 | 15.52 | |
| | IRG | | | | | | | | | | | | 3 | | | | | | 1 | | | | 2 | | | | | 0.995 | 9.64 | 21.72 | |
| | RC RG | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 0.998 | 8.28 | 16.01 |
| | IRG | | | | | | | | | | | | | 2 | | | | | 1 | | | | | | | | | | 0.989 | 10.86 | 16.45 |
| 片持床 | SRC RG | | | | | | | | | | | | | | 2 | | | | | 1 | | | | | | | | 0.970 | 19.96 | 20.86 | |
| | IRG | | | | | | | | | | | | | | | 2 | | | | | 1 | 3 | | | | | | | 0.985 | 21.20 | 21.79 |
| | RC RG | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | | | | | | | 0.988 | 40.16 | 21.84 |
| | IRG | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | 3 | | | 2 | | | | | | | 0.992 | 7.78 | 21.75 |
| 上部躯体 | SRC RG | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3 | | 1 | | 2 | | | | | 0.999 | 5.60 | 7.37 | |
| | IRG | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | 0.997 | 6.56 | 7.42 |
| | RC RG | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | 0.999 | 9.18 | 7.46 |
| | IRG | | | | | | | 3 | | | | | | | | | | 2 | | | | | 1 | | | | | | 0.999 | 2.56 | 7.46 |
| 下部躯体 | SRC RG | | | | | | | 3 | | | | | | 2 | | | | | | | | 1 | | | | | | 0.983 | 16.14 | 22.13 | |
| | IRG | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 0.775 | 37.00 | 20.91 |
| | RC RG | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | 0.997 | 18.62 | 19.93 |
| | IRG | | | | | | | | | | | | | | | 2 | | 1 | | | | | | | | | | | 0.952 | 27.40 | 20.07 |
| トータル | SRC RG | | | | | | | | | | | | | 3 | | | | | 2 | | | | 1 | | | | | 0.999 | 5.14 | 7.00 | |
| | IRG | 2 | | | | | | | | | | | | 4 | | | 3 | | | | | | 1 | | | | | 0.996 | 7.06 | 7.00 | |
| | RC RG | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | | | | | | 1 | | | | 1.000 | 4.92 | 7.00 | |
| | IRG | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 0.996 | 7.52 | 7.00 | |

表8.7 重回帰分析と単回帰分析による観測誤差率

| 手法、部材 タイプ | | 鉄 骨 | トータル 型 枠 | トータル 鉄 筋 | (上+下) 型 枠 | (上+下) 鉄 筋 | 部分別 型 枠 | 部分別 鉄 筋 |
|--------------|---|-------|-------------|-------------|--------------|--------------|------------|------------|
| SRC 標準型 | 重 | 13.40 | 2.34 | 5.14 | 2.42 | 5.11 | 2.69 | 4.80 |
| | 単 | 26.19 | 6.26 | 6.32 | 4.27 | 6.25 | 5.14 | 7.09 |
| SRC 非標準型 | 重 | 24.62 | 5.00 | 7.06 | 4.99 | 7.34 | 4.98 | 8.75 |
| | 単 | 31.92 | 10.43 | 10.05 | 6.65 | 9.76 | 7.07 | 9.28 |
| RC 標準型 | 重 | | 4.48 | 4.92 | 2.97 | 9.61 | 4.07 | 10.93 |
| | 単 | | 10.13 | 10.27 | 6.56 | 8.69 | 4.26 | 10.99 |
| RC 非標準型 | 重 | | 2.72 | 7.52 | 0.76 | 5.39 | 2.75 | 11.47 |
| | 単 | | 14.90 | 7.54 | 12.88 | 9.00 | 4.98 | 15.64 |

(2) 上部躯体数量と下部躯体数量の回帰推定値の合計による。(下部躯体とは基礎と地中梁の合計を指し、それ以外は上部躯体とする。(2)による推定値を以下“(上+下)推定値”と略す。)

(3) 部分別の回帰推定値の合計による。(3)による推定値を以下“部分別合計推定値”と略す。)

である。これらに単回帰分析、重回帰分析を適用し、それぞれ観測誤差率を求めた。

図8.8は観測誤差率の度数分布表でSRC造標準型・鉄骨量、型枠全体量の2例につ

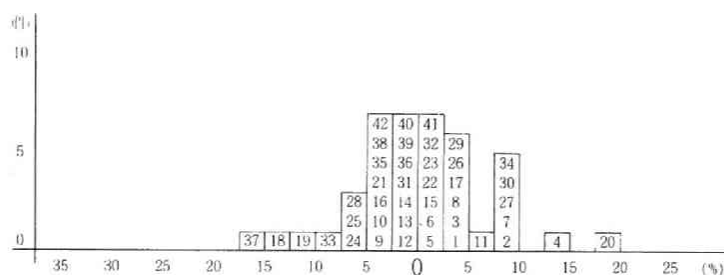


図8.8-1 SRC造標準型 鉄骨量 (重回帰分析結果)

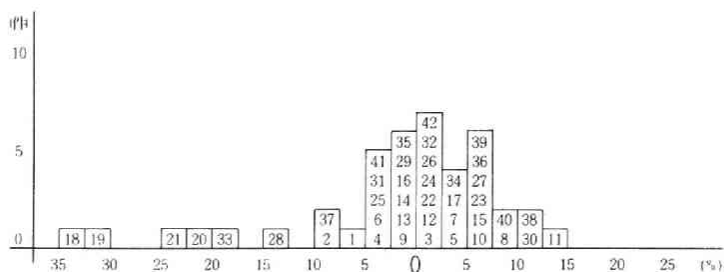


図8.8-2 SRC造標準型 鉄骨量 (単回帰分析結果)

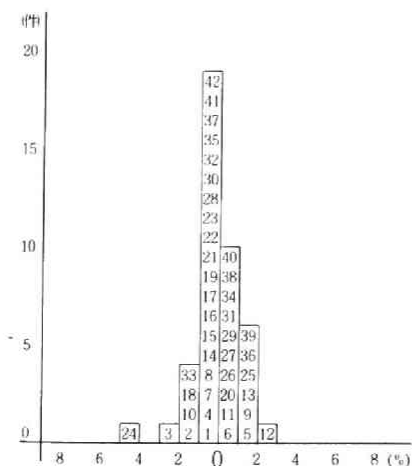


図8.8-3 SRC造標準型 型枠全体量 (重回帰分析結果)

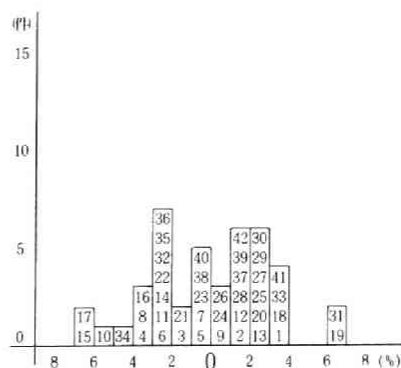


図8.8-4 SRC造標準型 型枠全体量 (単回帰分析結果)

いて、単回帰分析、重回帰分析それぞれの“トータル推定値”による観測誤差率を度数分布表で示した。棒グラフ内の数値はサンプルNo.である。

以下分析結果の考察を行う。

(1) 躯体数量要因の検討

①部分別回帰式では、当該部分のコンクリート量が有意な説明変数として挙げられており、且つ、その寄与の程度も高い。従って、コンクリート量を媒介として型枠、鉄筋、鉄骨量を推定する事の妥当性が伺える。一部、当該コンクリート量が有意となっていない部分もあるが、それは説明変数の選定手法による。例として、RC造非標準型・下部躯体型枠(Y_f)を考える。

表8.8 単相関マトリックス

Y_f … カタワクリョウ(カブクタイ)
 X_{14} … コンクリートリョウ(チチュウバリ) X_{17} … コンクリートリョウ(カベ) X_{21} … コンクリートリョウ(カブクタイ)
 X_{15} … … (ハシラ) X_{20} … … (ジョウフクタイ) X_{22} … … (トータル)

| | 14 | 15 | 17 | 20 | 21 | 22 | Y_f |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 14 | 1.000 | | | | | | |
| 15 | 0.918 | 1.000 | | | | | |
| 17 | 0.903 | 0.903 | 1.000 | | | | |
| 20 | 0.899 | 0.972 | 0.965 | 1.000 | | | |
| 21 | 0.933 | 0.917 | 0.878 | 0.890 | 1.000 | | |
| 22 | 0.920 | 0.978 | 0.965 | 0.997 | 0.924 | 1.000 | |
| Y_f | 0.944 | 0.891 | 0.913 | 0.886 | 0.916 | 0.905 | 1.000 |

Y_f と各説明変数との単相関マトリックスは表8.8となる。(但し、表8.8では全説明変数 $X_1 \sim X_{24}$ の内 Y_f との単相関が高い6変数を取り挙げている。) X_{21} と Y_f との相関も高いが、 X_{14} と Y_f との相関がより高い。従って、最初に X_{14} が選定され、次に相関が高い X_{21} は X_{14} との相関も高い為、これに吸収されて最良回帰式には採用されない。段階的手法による重回帰分析では、最初に Y_f と最も単相関の高い説明変数 X を選定するので、 Y_f との単相関が高くても X とも高い変数は、見掛け上、潜在し、有意な限度で検定することにより消滅してしまう。

②コンクリート量以外で有効な説明変数は、水平部材の梁、地中梁部分の型枠量では、〈1Fスパン数〉、鉄筋量では〈周長〉、床と片持床部分の型枠量では〈本体面積〉といった水平方向の説明変数である。一方、垂直部材の柱、壁部分では、型枠、鉄筋量共、垂直方向の説明変数は有効となっていない。従って、垂直方向のより有効な説明変数の

検討が必要である。

③説明変数 X_{10} , X_{24} は、いずれの部分別回帰式にも取り込まれていない。これら2変数は、他の説明変数の組み合わせで求められる。他には X_9 , X_{11} がある。 X_9 , X_{11} が採用されている部分は、SRC造非標準型・片持床鉄筋量、RC造非標準型・梁型枠量などであるが、その例は少なく、寄与の程度も最良回帰式中の説明変数の中では最も低い。ちなみに、変数 X_8 と X_3 , X_4 が、 X_{11} と X_7 , X_9 がそれぞれ同時に使われている例はない。今仮に、あまり採用されておらず、変数 X_3 , X_4 で構成されている変数 X_8 を除外した場合を、SRC造非標準型・キャンチスラブ鉄筋量を例にとって考える。 X_8 を取り入れた場合は $t_i \geq 2\sigma$ となるが、 X_8 を除いて重回帰分析を行うと $t_i < 2\sigma$ となる。(表8.9)つまり、変数 X_3 , X_4 では不十分であるが、その商を使えば、有効な説明変数となる。

表8.9 X8を除いて重回帰分析を行った場合の結果

* 分析対象 SRC造非標準・片持床鉄筋量

| 説明変数 | t 値 | 検定 | R ² | 2 σ | t ₁ |
|------|--------|----|----------------|------------|----------------|
| X19 | 13.060 | ○ | | | |
| X18 | 4.125 | ○ | | | |
| X20 | 3.223 | ○ | 0.985 | 21.20 | 21.79 |
| X8 | 2.106 | ○ | | | |

→

| 説明変数 | t 値 | 検定 | R ² | 2 σ | t ₁ |
|------|--------|----|----------------|------------|----------------|
| X19 | 12.199 | ○ | | | |
| X18 | 3.291 | ○ | 0.982 | 23.22 | 21.79 |
| X20 | 2.305 | ○ | | | |

(2) 許容誤差率と観測誤差率との比較

①重回帰分析の“トータル推定値”による観測誤差率は、鉄骨量を除いて、ほぼ許容誤差率(7%)以下となっている。中でも標準型は非標準型に比べ精度が良い。非標準型の精度を上げる為には、そのサンプルのグルーピングを検討する必要がある。

②型枠量の重回帰分析の“部分別合計推定値”による観測誤差率は、“トータル測定値”のそれと比べて同程度か小さくなっている。しかし、鉄筋量では必ずしもそうはなっていない。表8.6によれば、各部分の型枠量は殆どが $t_i \geq 2\sigma$ であるが、鉄筋量については、 $t_i < 2\sigma$ となっている部分がSRC造の基礎RC造の梁などいくつか見られる。鉄筋量の“部分別合計推定値”の観測誤差率が悪いのは、この影響である。例えば、SRC造、RC造非標準型について言えば、双方共、観測誤差率がそれぞれ $t_i = 42.12$ に対し $2\sigma = 180.66$, $t_i = 42.67$ に対し $2\sigma = 108.04$ となっている基礎部分の影響である。

③表 8. 7, 図 8. 8 により、単回帰分析と比較した場合の重回帰分析の効果がわかる。特に型枠量では、トータル、(上+下)、部分別、どれをとっても観測誤差率が極端に小さくなっている。鉄骨量、鉄筋量についても標準型、非標準型を問わず観測誤差率は減少している。

④精度が良い部分は、型枠量では、梁、壁、床であり、鉄筋量では、床である。逆に、精度が悪い部分は、先述した様に鉄骨量と基礎部分の鉄筋量である。鉄骨量の精度が悪いのは、a. 平面計画の違いによる構造上の扱いが異なること、b. 施工条件により 1 節建方の層数が異なること、(同節内では同断面の鉄骨使用) c. 鉄筋との応力負担割合、応力の安全率の取り方などに設計者の個人的差異が表われること、が原因である。基礎部分の鉄筋量では、a.

地盤の性状、近隣条件等により杭の種類、状態が異なること、(図 8. 9) b. 基礎の形状(布基礎、ベタ基礎、独立基礎)が異なること、が原因である。

| 杭の種類 | | 杭の状態 | |
|------|-----|------|------|
| 一本杭 | 多本杭 | 偏心無し | 偏心有り |
| | | | |

図 8. 9 杭の種類、状態によるベース筋の多寡

8. 4 概算モデルの適用例

8. 4. 1 モデルの適用範囲

重回帰式を用いるときの注意として、河口至高は次のように述べている。(※ 9)
「予測を行う場合、変量の適用範囲は普通説明変量の観測値の範囲内で行なわなければならない。」

本モデル(モデル 1)の場合表 8. 3 に示す範囲が一般に許される。

8. 4. 2 適用例

新たなサンプルに適用してその有効性を検討した。(表 8. 10) この結果、鉄骨量には問題があるにせよ、型枠量、鉄筋量では全体量でほぼ許容誤差率(7%)内の誤差率となっている事が確認出来る。つまり前項では観測誤差率が必ずしも満足のいくものではないとしたにもかかわらず、全体としては許容誤差率の範囲に入ることが多いことが予想さ

表 8.10 適用例

| サンプル名 | 構 造 | タイプ | 階 数 | 延べ床面積(㎡) | (1)・・・精算値 | | | | | | | |
|--------------|-----|--------|--------|----------|-----------|---------|---------|---------|----------|------------|----------|--------|
| A | SRC | 標 準 型 | 1 1 | 4474.80 | (2)・・・概算値 | | | | | | | |
| (f)・・・誤差率(%) | | | | | | | | | | | | |
| | | 基 礎 | 地中梁 | 柱 | 梁 | 壁 | 床 | 片持床 | 部 分 別 | 上 + 下 | 合 計 | |
| 型枠量 (㎡) | (1) | 131.38 | 662.97 | 956.56 | 2845.15 | 4231.14 | 3619.04 | 2057.28 | 14669.87 | 14669.87 | 14669.87 | |
| | (2) | 190.83 | 684.51 | 1003.90 | 2738.32 | 4104.96 | 3967.94 | 1610.22 | 14498.44 | 14219.50 | 14188.99 | |
| | (f) | -45.25 | -3.24 | -4.94 | 3.75 | 2.98 | -9.64 | 21.73 | 1.16 | 3.07 | 3.27 | |
| 鉄筋量 (t) | (1) | 1.10 | 14.50 | 29.90 | 63.10 | 36.70 | 49.70 | 34.30 | 235.80 | 35.80 | 235.80 | |
| | (2) | 1.90 | 16.65 | 25.52 | 66.97 | 37.44 | 57.06 | 31.49 | 251.02 | 237.19 | 224.34 | |
| | (f) | -72.72 | -14.86 | 14.64 | -6.13 | -2.03 | -14.81 | 8.17 | -6.06 | -0.58 | 4.85 | |
| | | | | | | | | | | 鉄骨量 (t) | (1) | 126.60 |
| | | | | | | | | | | | (2) | 149.94 |
| | | | | | | | | | | | (f) | -18.43 |

| サンプル名 | 構 造 | タイプ | 階 数 | 延べ床面積(㎡) | (1)・・・精算値 | | | | | | | |
|--------------|-----|--------|---------|----------|-----------|---------|---------|---------|----------|------------|----------|--------|
| B | SRC | 非標準型 | 1 2 | 6556.34 | (2)・・・概算値 | | | | | | | |
| (f)・・・誤差率(%) | | | | | | | | | | | | |
| | | 基 礎 | 地中梁 | 柱 | 梁 | 壁 | 床 | 片持床 | 部 分 別 | 上 + 下 | 合 計 | |
| 型枠量 (㎡) | (1) | 520.37 | 1350.04 | 1894.13 | 5195.08 | 8046.07 | 4614.45 | 4088.77 | 27338.72 | 27338.72 | 27338.72 | |
| | (2) | 392.58 | 1186.05 | 1747.76 | 5341.47 | 8770.92 | 5085.50 | 3614.02 | 26467.83 | 26570.85 | 26095.50 | |
| | (f) | 24.55 | 12.14 | 5.22 | -2.81 | -9.00 | -10.20 | 11.61 | 3.18 | 2.80 | 4.54 | |
| 鉄筋量 (t) | (1) | 15.30 | 29.30 | 57.50 | 143.00 | 66.20 | 74.30 | 72.90 | 491.10 | 491.10 | 491.10 | |
| | (2) | 14.37 | 32.65 | 47.60 | 137.77 | 75.25 | 82.02 | 52.95 | 455.46 | 511.56 | 501.96 | |
| | (f) | 6.01 | -11.44 | 17.20 | 3.65 | -13.67 | -10.39 | 27.36 | 7.25 | -2.21 | -4.16 | |
| | | | | | | | | | | 鉄骨量 (t) | (1) | 300.40 |
| | | | | | | | | | | | (2) | 293.04 |
| | | | | | | | | | | | (f) | 2.44 |

れる。従って許容誤差率の基準を用意していない場合、概算法の開発はこの段階で終了することになる。小泉の概算法がこれに該当する。

本研究では次節以下で許容誤差率を満足させるための精度向上の方策について検討する。

8.5 精度向上のための改善策 I

観測誤差率が許容誤差率を上回る場合の改善策は大別して二つある。一つは観測誤差率が大きいグループ、部分についての細分化、もしくはサンプルを増やすこと。他の一つは標準、非標準の定性的分類を定量化して分類方法を改善することである。本節では前者について、後者は次節において論述することにする。

8. 5. 1 観測誤差率の大きいグループ、部分への対策

表8. 7によればRC造標準型は他のタイプに比べ鉄筋量の観測誤差率が相対的に高い。且つ分析に用いられたサンプルは12件と少ない。従ってサンプル数を追加する例としてRC標準型の例をとりあげる。

一方表8. 6を部分別にみれば基礎部分の型枠、鉄筋量の観測誤差率が大きく、SRC造非標準型で特にその傾向が強く許容誤差率をはるかに上回っている。従って細分化の例としてSRC造基礎部分を取りあげる。

(1) RC造標準型 鉄筋量の検討

12サンプルから新たに入手したサンプルを加え20サンプルで重回帰分析を行った。その結果、 $2.6 > t_i$ であった梁、片持床部分で精度が向上し、部分別合計の精度も高くなった。(表8. 11)しかし、その誤差率は依然として許容誤差率(7%)を超えており、さらに今後の検討を要する。

表8. 11 RC造標準型 鉄筋量の検討

| | 基礎 | | 地中梁 | | 柱 | | 梁 | | 壁 | | 床 | | 片持床 | | 合計 | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| サンプル数 | 12 | 20 | 12 | 20 | 12 | 20 | 12 | 20 | 12 | 20 | 12 | 20 | 12 | 20 | 12 | 20 |
| 2σ | 42.04 | 38.40 | 18.18 | 20.00 | 5.66 | 17.50 | 20.48 | 9.66 | 10.08 | 8.98 | 8.28 | 11.82 | 40.16 | 28.56 | 10.93 | 8.59 |
| t_i | 43.16 | | 22.48 | | 19.61 | | 13.70 | | 19.26 | | 16.01 | | 21.84 | | 7.00 | |

(2) SRC造 基礎部分の検討

SRC造サンプルより独立基礎のみ取り出し、基礎部分鉄筋量の重回帰分析をすれば、各サンプルの観測誤差率の偏りに特徴がある。(図8. 10)即ち、PC杭では+側に偏り現場打ち杭では-側に偏る。そこで、PC杭と現場打ち杭の2つにグルーピングをし、双方について同様の重回帰分析を行なった。その結果、大幅に精度が向上する事が確認出来た。(表8. 12)

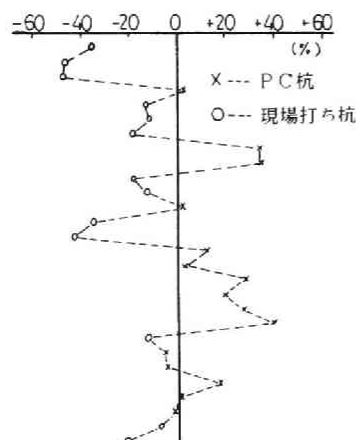


図8. 10 SRC造 基礎部分のサンプル別誤差率

表8. 12 基礎部分の検討

| 対象 | 分類 | サンプル数 | 奇与率 | 2σ | t_i |
|----------|-------|-------|----------|-----------|-------|
| SRC造標準型 | 全サンプル | 42 | 型枠 0.976 | 33.82 | 49.00 |
| | | | 鉄筋 0.887 | 65.48 | 41.52 |
| | PC杭 | 16 | 型枠 0.996 | 6.92 | 49.00 |
| | | | 鉄筋 0.961 | 38.46 | 41.52 |
| | 現場打ち杭 | 24 | 型枠 0.998 | 11.11 | 49.00 |
| | | | 鉄筋 0.966 | 28.46 | 41.52 |
| SRC造非標準型 | 全サンプル | 25 | 型枠 0.803 | 84.80 | 50.51 |
| | | | 鉄筋 0.526 | 180.66 | 42.12 |
| | PC杭 | 7 | 型枠 1.000 | 0.44 | 50.51 |
| | | | 鉄筋 1.000 | 1.23 | 42.12 |
| | 現場打ち杭 | 16 | 型枠 0.981 | 20.78 | 50.51 |
| | | | 鉄筋 0.956 | 43.56 | 42.12 |

最良回帰式の改善を経て、新たなサンプル19

例に適用し、その有効性を確かめた。その結果、型枠量、鉄筋量共部分別合計で2、3の例外を除いて $\beta_t \leq 7\%$ となった。更に $\beta_t \leq 5\%$ となった

表8.13 19サンプル適用結果

| 精度 | $\beta_t \leq 5\%$ | $5\% < \beta_t \leq 7\%$ | $7\% < \beta_t$ |
|----|--------------------|--------------------------|-----------------|
| 型枠 | 15 | 2 | 2 |
| 鉄筋 | 13 | 3 | 3 |

表 8.14 適用例

| サンプル名 | 構 造 | タイプ | 階 数 | 延べ床面積(㎡) | (1)・・・精算値 | | | | | | | |
|--------------|-----|--------|--------|----------|-----------|---------|---------|---------|------|------------|----------|--------|
| A | SRC | 標準型 | 11 | 2894.15 | (2)・・・概算値 | | | | | | | |
| (f)・・・誤差率(%) | | | | | | | | | | | | |
| | | 基 礎 | 地中梁 | 柱 | 梁 | 壁 | 床 | 片持床 | 外部階段 | その他 | 合 計 | |
| 型枠量 (㎡) | (1) | 208.40 | 571.76 | 694.36 | 1872.91 | 3430.11 | 2158.78 | 2289.58 | | 581.02 | 11806.91 | |
| | (2) | 207.98 | 573.61 | 745.43 | 1933.34 | 3528.55 | 2419.07 | 1985.10 | | 145.89 | 11538.96 | |
| | (f) | 0.20 | -0.32 | -7.35 | -3.23 | -2.87 | -12.06 | 13.29 | | 74.89 | 2.27 | |
| 鉄筋量 (t) | (1) | 5.60 | 12.80 | 21.40 | 47.80 | 28.90 | 29.50 | 31.80 | | 11.80 | 189.60 | |
| | (2) | 7.57 | 13.13 | 19.00 | 49.43 | 30.45 | 33.62 | 30.42 | | 10.60 | 194.23 | |
| | (f) | 35.18 | -2.56 | 11.22 | -3.42 | -5.37 | -13.95 | 4.35 | | 10.17 | -2.44 | |
| | | | | | | | | | | 鉄骨量 (t) | (1) | 96.20 |
| | | | | | | | | | | | (2) | 113.45 |
| | | | | | | | | | | | (f) | -17.93 |

| サンプル名 | 構造 | タイプ | 階 数 | 延べ床面積(㎡) | (1)・・・精算値 |
|-------|-----|------|-----|----------|--------------|
| B | SRC | 非標準型 | 10 | 3037.35 | (2)・・・概算値 |
| | | | | | (f)・・・誤差率(%) |

| | | 基礎 | 地中梁 | 柱 | 梁 | 壁 | 床 | 片持床 | 外部階段 | その他 | 合 計 |
|------------|-----|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|------|--------|----------|
| 型枠量 (㎡) | (1) | 239.28 | 620.18 | 804.42 | 2112.28 | 4127.86 | 2312.57 | 961.24 | | 221.45 | 11399.25 |
| | (2) | 255.73 | 665.09 | 752.67 | 2150.67 | 4091.60 | 2323.15 | 1148.66 | | 201.70 | 11589.27 |
| | (f) | -6.88 | -7.24 | 6.43 | -1.82 | 0.88 | -0.48 | -19.50 | | 8.92 | -1.67 |
| 鉄筋量 (t) | (1) | 7.60 | 17.50 | 23.20 | 52.20 | 41.50 | 34.20 | 26.00 | | 6.00 | 208.20 |
| | (2) | 5.41 | 17.36 | 23.61 | 55.34 | 37.43 | 38.17 | 19.82 | | 8.35 | 205.49 |
| | (f) | 28.81 | 0.82 | -1.78 | -6.02 | 9.81 | -11.61 | 23.78 | | -39.16 | 1.30 |

| | | |
|------------|-----|--------|
| 鉄骨量 (t) | (1) | 130.30 |
| | (2) | 123.98 |
| | (f) | 4.85 |

| サンプル名 | 構 造 | タイプ | 階 数 | 延べ床面積(㎡) | (1)・・・精算値 | (2)・・・概算値 | (f)・・・誤差率(%) |
|-------|-----|-------|-----|----------|-----------|-----------|--------------|
| C | RC | 標 準 型 | 6 | 3156.07 | | | |

| | | 基 礎 | 地中梁 | 柱 | 梁 | 壁 | 床 | 片持床 | 外部階段 | その他 | 合 計 |
|------------|-----|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|----------|
| 型枠量 (㎡) | (1) | 197.33 | 887.28 | 534.38 | 1875.31 | 2810.44 | 2550.10 | 1469.28 | | 372.47 | 11428.88 |
| | (2) | 256.77 | 1001.52 | 549.20 | 1825.65 | 2900.83 | 2529.29 | 1228.47 | 731.76 | 244.27 | 11267.76 |
| | (f) | -30.12 | -12.87 | -2.77 | 2.65 | -3.22 | 0.82 | 16.42 | | 34.41 | 1.40 |
| 鉄筋量 (t) | (1) | 4.47 | 19.56 | 21.95 | 56.34 | 22.99 | 33.92 | 27.08 | | 6.58 | 206.54 |
| | (2) | 5.57 | 21.89 | 19.79 | 59.71 | 24.88 | 38.74 | 24.25 | 9.65 | 5.97 | 213.95 |
| | (f) | -24.55 | -11.90 | 9.84 | -5.98 | -8.23 | -14.22 | 10.46 | | 9.27 | -3.58 |

のは、型枠量では15/19、鉄筋量では13/19であった。(表8.13)ここに β_t は全体での誤差率である。表8.14には個別サンプルの適用例を部分別に示す。サンプルA, B, C共に型枠、鉄筋量に関する限り4%以内の誤差率になっており、サンプルAの鉄骨量のみ17.9%と大きな誤差率となっている。

いずれにせよモデル1に比べ、相当程度の改善が可能である。

8.6 クラスタ分析導入による概算精度の向上

(精度向上のための改善策Ⅱ)

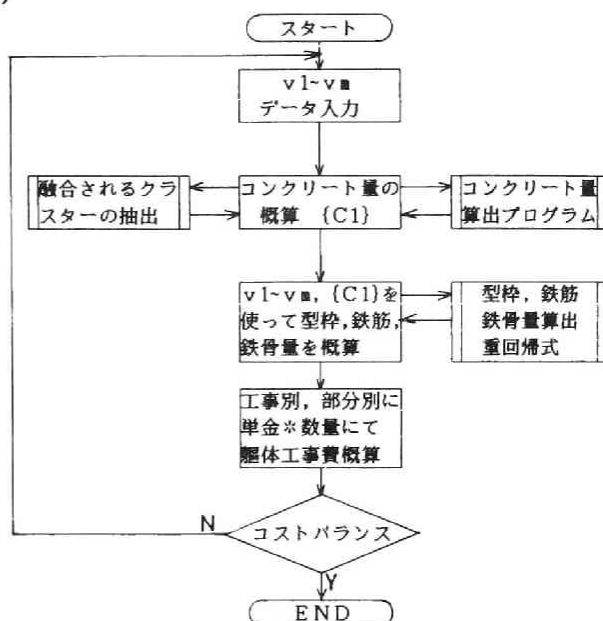
これまでの議論は建物形状を便宜的に標準型、非標準型の2種類に分類した。ここでは建物形状を計量的に分類する手法としてクラスタ分析を使い、概算精度の向上を図った。本概算法(改良モデル1)のフローは図8.11に示すとおり。

8.6.1 クラスタ分析の手法選定

本研究ではクラスタ分析法として、類縁関係を示す階層構造を求めながら結合あるいは分割を進める階層的手法を用いた。その中にはクラスタ間の類似度の定義の仕方によっていくつかの手法がある。ここでは、①最長距離法、②メジアン法、③ワード法、④重心法、⑤最短距離法、⑥群平均法の6手法の比較を下記の条件で実施した。(図8.12)

- (1) 分析対象サンプルはSRC造67件
- (2) 変数は表8.2に示す12変数(建物規模・形状変数)
- (3) 各変数の値は下式を使い標準化

$$X_i^* = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\sigma_i} \dots\dots\dots (13)$$

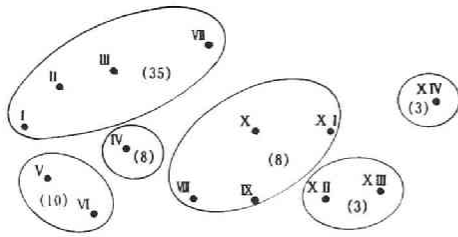


\bar{X}_i : 変数 X_i の平均値

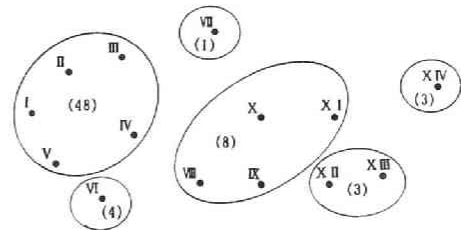
σ_i : 変数 X_i の標準偏差

(4) 出力された樹状図から各手法共6つのクラスターに分類。

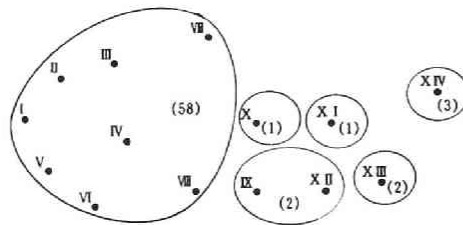
この結果ウォード法を採用する。河口至高 (* 10) は「クラスター分析を行う際、データに対してどの手法が有効であるかは、データに内在するクラスターの特性 (形状) に依存する。したがって、各手法を適用して、得られた結果を多方面から、十分に検討することが要求される。」という。本論文ではサンプルが各クラスターに比較的平均して分類されることを理由にウォード法を採用した。



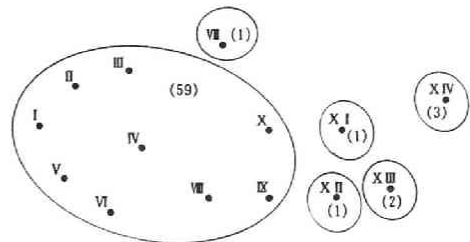
最長距離法



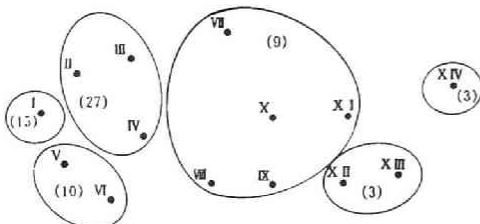
重心法



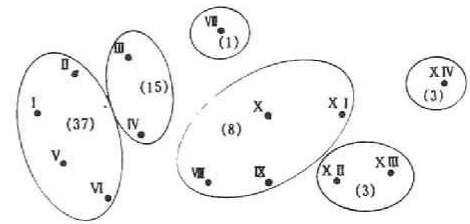
メジアン法



最短距離法



ウォード法



群平均法

図 8.12 クラスター分析手法比較

8. 6. 2 ウォード法によるクラスター分析

(1) 各クラスターの性格

ウォード法によるクラスター分析の結果、67個のサンプルを C_1 :15個、 C_2 :10個、 C_3 :27個、 C_4 :9個、 C_5 :3個、 C_6 :3個に分類できた。この内、サンプル数の少ない C_5 および C_6 は除外し、 $C_1 \sim C_4$ についてそれぞれの特徴を調べた。その結果を図8.13に示す。この図は各クラスター毎に本体面積、階数、細長比(1)および(2)の値の各平均値、標準偏差を示したものである。 C_2 および C_4 は本体面積により他のクラスターと明確に分類される。 C_1 と C_3 は本体面積では明確に分類できないが、階数によりそれが可能となる。細長比(1)を見ると建物形状がさらにはっきりとする。すなわち、 C_3 は細長く C_1 は扁平な建物である。建物の平面形状を示す細長比(2)では各クラスター間にさしたる差異は見られない。

建物形状のイメージ図を図8.14に示す。

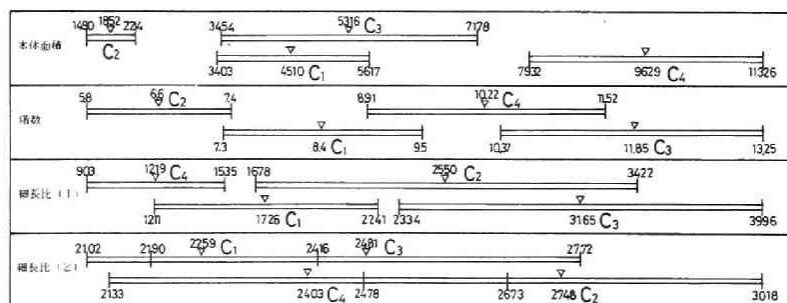


図8.13 各クラスターの性格

(2) 新しいサンプルの分類方法

新たなサンプル(q)を加えた場合、どのクラスターに分類されるかの手順は以下のとおり。

① q に関して表8.2の $X_1 \sim X_{12}$ の値を求め、この値を(13)式で使用した

X_i , $6i$ を用いて標準化する。 $(X_{ri})^w$

② X_{ri}^w を用い q を $C_1 \sim C_4$ それぞれに融合した場合の E の増加分を調べる。

但し、

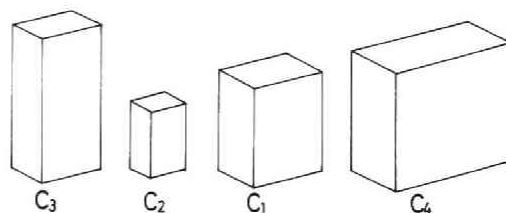


図8.14 建物形状イメージ図

されていないためと目
される。また基礎部分
では杭の有無、種類に
よる影響で前節でみた
ようにサンプル数の増
加を待ってその部分を
細分化すればよい。

(2) 鉄骨量は全ての
クラスターで $2.6 > t_i$
となっているが表 8.7
の結果より大幅に精度
が向上している。(注 1)
(3) 型枠量、鉄筋量
の部分別合計は全て 2.6
 $< t_i$ であり、鉄骨量同
様精度が向上した。

表 8.15-3 鉄筋量要因分析表

| 部分 | 分類 | 説明変数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | R ² | 2σ | t _i |
|-------|----------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------------|-------|----------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | | | |
| 基礎 | C ₁ | | | | 3 | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 2 | | 0.906 | 38.44 | 47.58 |
| | C ₂ | | | | | | | | | | 2 | | | 1 | | | | | | | | | | | | 0.984 | 94.28 | 32.22 |
| | C ₃ | | | 3 | | | | | | | | | | | | 2 | | | | | | 1 | | | | 0.855 | 43.90 | 40.85 |
| | C ₄ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | 0.604 | 54.58 | 38.83 |
| 地中梁 | C ₁ | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 2 | | | | | | | 0.901 | 15.23 | 25.29 |
| | C ₂ | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | 2 | | | | | 0.908 | 10.14 | 20.40 |
| | C ₃ | | 2 | | | | | | | | | | | | 4 | | | | | | 5 | | 1 | 3 | | 0.980 | 7.57 | 27.85 |
| | C ₄ | | | | | | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | 1 | | | 0.904 | 11.79 | 26.15 |
| 柱 | C ₁ | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 0.799 | 19.62 | 23.02 |
| | C ₂ | | 2 | | 5 | | 6 | | | | 4 | | | | 3 | 1 | | | | | | | | | | 1.000 | 2.36 | 22.71 |
| | C ₃ | | | | | | 2 | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 0.939 | 14.19 | 21.63 |
| | C ₄ | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 2 | | | | | | 0.976 | 6.10 | 22.39 |
| 梁 | C ₁ | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | 0.970 | 8.77 | 13.45 |
| | C ₂ | | | | | | | | | | | | | | 3 | | | | 2 | | 1 | | | | | 0.982 | 9.01 | 14.39 |
| | C ₃ | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 0.983 | 7.63 | 13.33 |
| | C ₄ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | 0.985 | 6.77 | 13.54 |
| 壁 | C ₁ | | | | 3 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 2 | | | 0.989 | 5.47 | 18.00 |
| | C ₂ | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | 0.939 | 17.34 | 17.86 |
| | C ₃ | | | | | | | | | | | | 3 | | | | | | | | | | 2 | | | 0.989 | 5.91 | 17.31 |
| | C ₄ | | | | | | | | | | | | 2 | | | | | 1 | | | | | | | | 0.981 | 4.88 | 17.83 |
| 床 | C ₁ | | | | | | | | | | | 2 | | | | | | | 1 | | | | | | | 0.992 | 4.78 | 15.27 |
| | C ₂ | | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | 1 | 3 | | 0.998 | 4.31 | 15.18 |
| | C ₃ | | | | | | | | | | | | 3 | | 4 | | | | 1 | | | | | 2 | | 0.996 | 4.22 | 15.56 |
| | C ₄ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | 0.992 | 3.74 | 15.48 |
| 片持床 | C ₁ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | 0.927 | 15.88 | 20.48 |
| | C ₂ | | | | | | | | | | | | | | | 2 | | | | | 1 | | | | | 0.986 | 9.70 | 24.77 |
| | C ₃ | | | | | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | 1 | | | | 0.941 | 31.30 | 20.41 |
| | C ₄ | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | 0.917 | 14.38 | 21.08 |
| 部分別合計 | C ₁ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 4.91 | 7.00 | |
| | C ₂ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 5.05 | 7.00 | |
| | C ₃ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 4.01 | 7.00 | |
| | C ₄ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.73 | 7.00 | |

表 8.16 C₃ クラスターの部分別重回帰式

| | | |
|----|-----------|--|
| 型枠 | 基礎 | $Yf = 0.9053 \times_{13} - 6.3577 \times_{14} + 0.6321 \times_{17} - 0.5837 \times_{18} + 84.6770$ |
| | 地中梁 | $Yf = 3.2708 \times_{14} + 55.0625 \times_{15} + 0.8334 \times_{18} - 0.1646 \times_{20} + 13.6714$ |
| | 柱 | $Yf = 4.7236 \times_{15} + 35.2227 \times_{12} - 0.5979 \times_{23} + 0.0826 \times_{20} - 59.1133$ |
| | 梁 | $Yf = 0.8289 \times_{20} + 436.5000 \times_{15} + 1.3989 \times_{18} + 0.5693 \times_{23} + 111.0508$ |
| | 壁 | $Yf = 12.8740 \times_{17} + 8.1563 \times_{14} - 16.3672$ |
| | スラブ | $Yf = 6.3279 \times_{18} + 0.7405 \times_{19} - 55.3984$ |
| 鉄筋 | ローカ・バルコニー | $Yf = 8.1133 \times_{19} - 0.1296 \times_{11} + 163.5352$ |
| | 基礎 | $Yr = 0.0169 \times_{22} - 0.9510 \times_{12} + 0.0075 \times_{16} + 7.8488$ |
| | 地中梁 | $Yr = 0.0112 \times_{22} + 0.0327 \times_{14} - 0.0077 \times_{19} - 0.0019 \times_{11} - 0.0069 \times_{23} + 2.0676$ |
| | 柱 | $Yr = 0.1169 \times_{15} - 0.3357 \times_{14} + 4.1992$ |
| | 梁 | $Yr = 0.0354 \times_{20} + 13.1012 \times_{15} + 6.7583$ |
| | 壁 | $Yr = 0.0986 \times_{17} + 0.0054 \times_{22} - 1.3591 \times_{12} + 10.6873$ |
| 鉄骨 | スラブ | $Yr = 0.0687 \times_{18} + 0.0121 \times_{23} + 1.0879 \times_{12} + 0.0265 \times_{14} - 5.3251$ |
| | ローカ・バルコニー | $Yr = 0.1204 \times_{19} + 0.0154 \times_{13} - 1.1508$ |
| | 鉄骨 | $Ys = 0.0770 \times_{23} + 51.9949 \times_{15} + 0.0859 \times_{20} - 0.8734 \times_{14} - 0.0947 \times_{19} + 16.0659$ |

(注 1) 表 8.7 は標準、非標準で分割したものであり、クラスター分析による分割と同一ではない。従って本来直接には比較できないが大筋はこれでよめる。

8.6.4 適用例

表8.14で適用した新規サンプルAおよびBを改良モデル1に適用した結果を表8.

17, 表8.18に示す。表8.17から両サンプル共クラスターC₃に融合されることがわかる。C₃の最良回帰式を用いて概算値を求め、その精度を確認した。この結果全体として精度は向上した。サンプルBでは鉄骨量も含め全体の誤差率が4%以内に、サンプルAでは鉄骨量を除き2%内におさまっている。

いずれのクラスターに融合されるかは別として型枠、鉄筋、鉄骨の各全体系の誤差率をモデル1と改良モデル1との間でサンプル毎に比較したのが図8.15である。端的には鉄骨量の精度が向上していることがよみとれる。

表8.18 適用例

| サンプル名 | 構 造 | クラスター | 階 数 | 延べ床面積(m ²) | (1)・・・精算値 | | | | | | |
|----------------------------|-----|----------------|--------|------------------------|--------------|---------|---------|---------|------------|----------|--------|
| A | SRC | C ₃ | 11 | 2894.15 | (2)・・・概算値 | | | | | | |
| | | | | | (f)・・・誤差率(%) | | | | | | |
| | | 基 礎 | 地 中 梁 | 柱 | 梁 | 壁 | 床 | 片 持 床 | その他 | 合 計 | |
| 型 枠 量 (m ²) | (1) | 208.40 | 571.76 | 694.36 | 1872.91 | 3430.11 | 2158.78 | 2289.58 | 581.02 | 11806.91 | |
| | (2) | 225.04 | 627.70 | 754.26 | 1992.85 | 3411.93 | 2172.40 | 2344.89 | 145.89 | 11674.96 | |
| | (f) | -7.98 | -9.78 | -8.62 | -6.40 | 0.53 | -0.63 | -2.42 | 74.89 | 1.12 | |
| 鉄 筋 量 (t) | (1) | 5.60 | 12.80 | 21.40 | 47.80 | 28.90 | 29.50 | 31.80 | 11.80 | 189.60 | |
| | (2) | 4.88 | 14.03 | 19.50 | 45.59 | 33.63 | 33.94 | 31.24 | 10.60 | 193.39 | |
| | (f) | 13.21 | -9.61 | 8.88 | 4.62 | -16.37 | -15.05 | 1.76 | 10.17 | -2.00 | |
| | | | | | | | | | 鉄骨量 (t) | (1) | 96.20 |
| | | | | | | | | | | (2) | 111.35 |
| | | | | | | | | | | (f) | -15.75 |

| サンプル名 | 構 造 | クラスター | 階 数 | 延べ床面積 (㎡) | (1)・・・精算値 | | | | | |
|--------------|-----|----------------|--------|-----------|--------------|---------|---------|------------|--------|----------|
| B | SRC | C ₃ | 10 | 3037.3 | (2)・・・概算値 | | | | | |
| | | | | | (f)・・・誤差率(%) | | | | | |
| | 基 礎 | 地 中 梁 | 柱 | 梁 | 壁 | 床 | 片 持 床 | その他 | 合 計 | |
| 型 枠 量 (㎡) | (1) | 239.28 | 620.18 | 804.42 | 2112.28 | 4127.88 | 2312.57 | 961.24 | 221.45 | 11399.25 |
| | (2) | 259.09 | 701.55 | 869.12 | 2105.58 | 4103.01 | 2281.19 | 1094.75 | 201.70 | 11615.99 |
| | (f) | -8.29 | -13.12 | -8.04 | 0.32 | 0.60 | 1.36 | -13.89 | 8.92 | -1.90 |
| 鉄 筋 量 (t) | (1) | 7.60 | 17.50 | 23.20 | 52.20 | 41.50 | 34.20 | 26.00 | 6.00 | 208.20 |
| | (2) | 7.40 | 15.98 | 21.62 | 56.78 | 37.93 | 38.67 | 21.61 | 8.35 | 208.32 |
| | (f) | 2.63 | 8.80 | 6.81 | -8.77 | 8.60 | -13.07 | 16.88 | -39.16 | -0.06 |
| | | | | | | | | 鉄骨量 (t) | (1) | 130.30 |
| | | | | | | | | | (2) | 126.03 |
| | | | | | | | | | (f) | 3.28 |

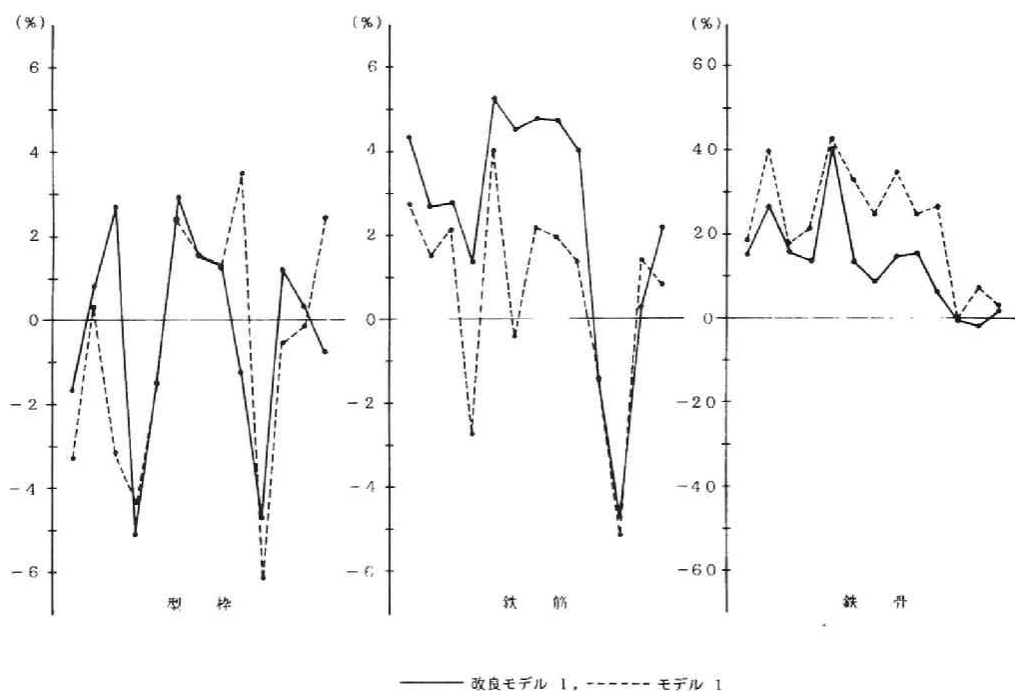


図8.15 SRC造サンプル別誤差率

8.7 まとめ

基本設計プロセスという情報量が比較的少ない段階においても建物規模・形状変数とコンクリート量によって躯体数量が一定程度の誤差範囲で概算できる方法を提案した。さらに許容誤差率の判定基準を設けることによって精度向上のために改善すべき部分を明確にすることができることを示した。同時に現実のプロジェクトに適用し、その有効性、妥当性を検討した。

次に建物の分類をその規模・形状変数を使った数量化手法（ここではクラスター分析）によって行う方法を提案し、躯体数量概算の精度がどのように変化するかを検討した。その結果一定程度の精度の向上がみられ、特に鉄骨量においてその傾向が強い。この改良モデル1はモデル1と比較して概算手間に差はなく実用化が可能な方法と目される。

しかし本概算法には次の三点で課題が残る。

(1) 本概算法は設計者の設計思想が異なれば使用することができない。これは統計的概算法一般にいえ。従って事業主体が異なれば本概算法の回帰式は原則的には利用することができない。本概算法開発の方法論を使って別個に回帰式を求める必要がある。また同じ事業主体でも設計思想に一貫性、論理性がない場合概算の精度は低下することが予想さ

れる。たとえばSRC造の場合の鉄骨と鉄筋への応力の負担割合、設計者が部材量、断面決定する際の余裕の与え方など。これらの考察は今後の課題である。

(2) 前述のとおり本概算法はコンクリート量を介して躯体数量を概算している。このことによって基本設計プロセスながら比較的精度のよい躯体数量概算を実現している。しかしコンクリート量を介さないで躯体数量を概算する方法、あるいはコンクリート量をも建物規模・形状変数から推計する方法が開発されてよく、その場合の精度を含め今後の課題である。

(3) 工事費概算の目標はより正確なコストの予測にある。されば建物の部分、工種によって適切な概算法は異なるものと考えられる。選択範囲が広く、豊富な仕上工事の場合数量概算を介してコストの予測をする必要はなく、むしろ仕上工事に配分される予算に応じて仕様を決定すればよい。一方躯体のグレードは豊富でなく、むしろ一意的である。従って予算を割り付けたとしてもそれを満足するか否かは躯体数量概算に依存せざるを得ない。このように部分、工種によって適切な概算法を検討することも今後必要となろう。

いずれにせよ工事費概算は今後ますます迅速さと精度が要求されよう。

以上本章では基本設計プロセスでの概算法を中心に論述した。統計的手法に依存する限りでは前工程である企画、後工程である実施設計プロセスに至ってもその方法論は同じである。ただし基本設計完了時点においては主要断面が決定され、情報が詳細化されている点でより精緻な概算モデルの構築が可能である。その位置づけは図8.3において概算2として行っている。

本概算法は基本設計プロセスから比較的精度のよい概算が可能で、設計者がいくつかの企画、基本設計案を比較するうえでの支援システムの一つである工事費計画システムである。

参 考 文 献

- * 1) J.Soderburg: SYRE-A SYSTEM OF BUILDING ECONOMICS,
Proceedings of third international symposium on Building Economics (W55),
CIB,National Research Council Canada,1984
- * 2) 日本規格協会編: JISハンドブック 品質管理 1984,日本規格協会,1984.4
- * 3) 日本建築積算協会編: 建築積算教程 3, 森北出版 1979.6
- * 4) 西沢博他: 電話局のコスト計画における概算法の試み(その1~その4), 日本
建築学会論文報告集, 1971.2,1971.4,1973.6,1974.5
- * 5) 小泉昇: R C造およびS R C造の躯体工事費概算, 建築技術No.333,建築技術,
1979.5
- * 6) 古阪秀三他: 建築プロジェクトの最適化問題の考え方, 建築生産と管理技術シン
ポジウム論文集, 日本建築学会, 1985.7
- * 7) 福岡孝之他: 躯体数量の概算に関する一手法の研究, 日本建築学会大会学術講演
梗概集, 1983.9
- * 8) 一瀬正巳: 誤差論, 培風館, 1975.10
- * 9) 河口至商: 多変量解析入門 I, pp3~33 森北出版, 1978.8
- * 10) 河口至商: 多変量解析入門 II, pp26~44 森北出版, 1978.4
- * 11) 古阪、古川他: 集合住宅の概算法に関する研究(1) - 躯体数量概算の考え方
- 日本建築学会近畿支部研究報告集, 1984.6
- * 12) 浜口、古川他: 集合住宅の概算法に関する研究(2) - 概算法の開発と適用例
- 日本建築学会近畿支部研究報告集, 1984.6
- * 13) 古川、古阪他: 集合住宅の概算法に関する研究(1) - 躯体数量概算法の開発
と適用例 - 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1984.10
- * 14) 古川、古阪他: 集合住宅の概算法に関する研究(2) - クラスター分析を導入
した躯体数量概算法について - 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1985.10

第9章 基本設計プロセスでの超高層集合住宅プロジェクトの施工計画の最適化

9.1 はじめに

建築工事は一方では大規模化・複雑化しており、そこに利用、応用される技術も多岐に亘っている。施工方法、施工機械の選定に限っても検討を要する代替案は数多く存在する。さらに大規模化、複雑化は新技術、組合せ技術の開発を必要とする場合もある。こういった建築工事では施工計画、さらにその一部である工事計画を論理的に設定するためには相当な人的・物的エネルギーの投入を必要とする。

他方通常の建築工事では基本設計プロセスでの施工計画情報は量的に少なく、不確実性が高い。従って概略にせよ施工計画が作成されることは稀で、施工計画プロセスで初めて検討されることが一般的である。その場合でも現場担当者が短期間に施工計画を作成せねばならないことが多く、数少ない代替案の検討と経験に基づいた決定を行っている。従ってそこでは各担当者が最適と信ずる施工計画が作成されるが、その保証はない。

揚重計画を例にとれば基本設計プロセスでは乏しい経験か、経験がない状況で決定される。計画せず、係数処理で工事費を算出することも多い。その場合表9.1に例示するような判断基準を用意し、仮設工事費の概算(図9.1)に利用し

表9.1 揚重機計画における機種決定ロジック(A社の例)

| | | | | | |
|------|---------|--------------|-----------|------|-----|
| リフト | 1. 建築面積 | 2,000㎡以下 | ユニバーサルリフト | | |
| | 2. 階数 | 7階以上 | ロングエレベータ | | |
| | 3. 上記以外 | | ロングリフト | | |
| クレーン | 1. 延床面積 | 1,500㎡以下 | ユニークレーン | 0.5t | |
| | 2. 延床面積 | 1,500~2,500㎡ | ユニークレーン | 1.0t | |
| | 3. 延床面積 | 2,500~3,500㎡ | ハイユニークレーン | 1.0t | 10m |
| | 4. 延床面積 | 3,500~5,000㎡ | ハニークレーン | 1.0t | 15m |
| | 5. 延床面積 | 5,000~6,000㎡ | タワーレーン | 1.5t | 20m |
| | 6. 延床面積 | 6,000~7,000㎡ | タワーレーン | 1.2t | 25m |
| | 7. 延床面積 | 7,000~8,000㎡ | タワーレーン | 2.0t | 20m |
| | 8. 延床面積 | 8,000~9,000㎡ | タワーレーン | 2.0t | 30m |

ている。概略にせよ施工計画の裏付けはない。揚重用クレーンに限れば延床面積と機種が一意的に決定される。一方で物的設計は部材、ユニット等の設計、決定にまで及び、その重量、数量は意識されることなく確定する。

施工計画プロセスでも本論文4.1節でみたように当初の計画と実際とは往々にして異なる。工事の現実化に伴い、思考錯誤をくりかえしながら満足化をはかった結果と解される。

本章の目的は基本設計プロセスでの物的設計支援の施工計画システムを構築することにあるが、上記のとおり現状では基本設計プロセスで施工計画が作成されることは少ないた

め、施工計画プロセスでの計画過程を中心に論述する。すなわち本章の目的を施工計画の主要な部分であるクレーンの配置計画に検討を加え、その最適配置決定モデルを構築することとする。モデルを構築することにより、施工計画プロセスでの思考過程を論理的にし、第7章でいう情報をつくり出すシステムの一部を作成する。このシステムを基本設計プロセスに適用すれば概略にせよ施工計画 ― ここではその一部である揚重計画 ― に裏付けられたプロジェクトプランニングが可能となる。以下9. 2節でクレーン配置計画の考え方とモデルの前提条件及び既存の研究との関連について触れ、9. 3節では最適配置計画

| | | | | | | | |
|---|---------------|--------|--------|-------|----|-------------|----|
| [共通仮設] 障害修理 仮設道路橋梁 借地借家 仮囲門扉 | | | | | | 518,000円 | * |
| | | | | | | 752,000円 | * |
| | | | | | | 902,000円 | * |
| 仮設建物 | 仮囲月数 | 10ヶ月 | | | | | |
| | シート門扉(3間) | 1台 | | | | 169,000円 | |
| | シート門扉(4間) | 0台 | | | | 0円 | |
| | 万能鋼板 | 32m | | | | 165,000円 | |
| | 波板 | 0m | | | | 0円 | |
| 機械器具 | シート | 0m | | | | 0円 | |
| | 小計 | | | | | 334,000円 | * |
| | 仮設建物月数 | 13ヶ月 | | | | | |
| | 仮設事務所 特殊型 | | | | | 0円 | |
| | 仮設下小屋、 | | | | | 721,000円 | |
| 工事用電力 | 仮設便所 | 2個 | | | | 173,000円 | |
| | 小計 | | | | | 894,000円 | * |
| | クレーン月数 | 3.0ヶ月 | クレーン高さ | 15.3m | | | |
| | タワークレーン 15-20 | | 1台 | | | 1,538,000円 | |
| | リフト月数 | 3.0ヶ月 | リフト高さ | 13.8m | | | |
| 工事用給排水 安全設備 | ポンク・リフト | | 1台 | | | 327,000円 | |
| | 雑機械器具費 | | | | | 20,000円 | |
| | 小計 | | | | | 1,885,000円 | * |
| | 仮設電気月数 | 13ヶ月 | 電灯 | 19KW | 動力 | 30KW | |
| | 仮設電気使用料 | | | | | 1,450,768円 | |
| 通信・雑設備 | 仮設電気工事費 | | | | | 902,643円 | |
| | 仮設電気工事費 | | | | | 0円 | |
| | 仮設電気工事費 | | | | | 0円 | |
| | 仮設電気工事費 | | | | | 0円 | |
| | 小計 | | | | | 2,353,000円 | * |
| 屋外整理清掃 隣接復旧 運搬費 共通仮設合計 [直接仮設] 水盛造形 | 足場月数 | 0ヶ月 | | | | 1,065,000円 | * |
| | シート貼 | 0㎡ | | | | 0円 | |
| | 金網貼 | 0㎡ | | | | 0円 | |
| | 枠組ネット | 0㎡ | | | | 0円 | |
| | 朝顔安全備 | 0m | | | | 0円 | |
| 足場・棧橋 | 小計 | | | | | 3,255,000円 | * |
| | 屋外面積 | 200㎡ | | | | 274,000円 | * |
| | | | | | | 655,000円 | * |
| | 20Km未満 | | | | | 50,000円 | * |
| | | | | | | 534,000円 | * |
| 養生 屋内整理清掃 直接仮設合計 ガードマン 仮設工事合計 | 水盛造形 | 800㎡ | | | | 1,624,000円 | * |
| | 水盛造形 | 4,800㎡ | | | | 15,095,000円 | ** |
| | 小計 | | | | | 40,000円 | |
| | 足場月数 | 10ヶ月 | | | | 192,000円 | |
| | 足場月数 | 411㎡ | | | | 232,000円 | * |
| 仮設工事合計 | 足場月数 | 0㎡ | | | | 585,000円 | |
| | 足場月数 | 0㎡ | | | | 0円 | |
| | 足場月数 | 0㎡ | | | | 0円 | |
| | 足場月数 | 0m | | | | 0円 | |
| | 足場月数 | 0m | | | | 0円 | |
| 養生 屋内整理清掃 直接仮設合計 ガードマン 仮設工事合計 | 足場月数 | 0m | | | | 576,000円 | |
| | 足場月数 | | | | | 0円 | |
| | 小計 | | | | | 1,161,000円 | * |
| | | | | | | 576,000円 | * |
| | | | | | | 2,400,000円 | * |
| 養生 屋内整理清掃 直接仮設合計 ガードマン 仮設工事合計 | 延人数 | 100人 | | | | 4,369,000円 | ** |
| | | | | | | 1,000,000円 | * |
| | | | | | | 20,464,000円 | ** |

を求める手順を示す。また 9.4 節では適用例と結果の考察を行う。9.5 節は本章のまとめである。

9.2 超高層クレーン配置計画問題の記述

9.2.1 問題設定

クレーンの配置計画に際し検討すべき項目は主として次の 6 点である。

- ① 揚重設備の種類、クレーンを使用するか否か
- ② 工期工程
- ③ 揚重負荷、取込方法、揚重位置
- ④ クレーン性能（作業半径、定格荷重、作業高さ等）
- ⑤ クレーン設置場所（定置式）、移動範囲（移動式）
- ⑥ 組立・解体方法

またクレーンの種類は能力、機構違いだけでも表 9.2 のとおり 70 種を超え、これに型式を加えると 1 現場担当者が検討しうる範囲をはるかにこえている。（＊3）

ましてやこれらの組合せによる配置計画の検討となると不可能である。従って通常は数種類のクレーンを比較検討するにとどまっており、しかも最下階から最上階まで同一種類のクレーンを設定することが多い。しかしながら下階と上階では揚重負荷、高さ等の点で施工条件が異なり、必ずしも同一機種クレーンによる施工が有利でない場合も多い。ここで提案するモデルは多くのクレーン種類の中から施工条件を満足しつつ、機械経費を最小にするクレーンの選択、組合せを決定するためのものである。

表 9.2 揚重用クレーンの分類

| 大分類 | 中分類 | 小分類 種類数 | 諸 元 | | |
|-----------|----------------|------------|--------------|-------------|-------------|
| | | | つり上能力 (t, m) | 揚程 (タワー高) m | ブーム長さ (m) |
| クローラ クレーン | 機械ロープ式 | 10 | 1.6 ~ 150 | — | — |
| | 油圧ロープ式 | 7 | 4.9 ~ 150 | — | — |
| トラクタ クレーン | 機械式 | 10 | 1.5 ~ 150 | — | — |
| | 油圧式 | 12 | 4.8 ~ 80 | — | — |
| ホイール クレーン | 油圧式 | 2 | 4.8 ~ 15 | — | — |
| タワー クレーン | 機械式・クローラ型 | 2 | 5.7 ~ 80 | (29~37) | — |
| | 油圧式・クローラ型 | 3 | 5.1 ~ 88 | (26~38) | — |
| | 油圧クライミング式・定置型 | 7 | 1.5 ~ 400 | 50~250 | 17.5~40.5 |
| | ワイヤクライミング式・定置型 | 4 | 5 ~ 180 | 40~100 | 7.5~33.7 |
| | 油圧クライミング式・水平型 | 3 | 3.4 ~ 180 | 50~100 | 3.0 ~ 3.5 |
| | ワイヤクライミング式・水平型 | 3 | 1 ~ 5 | 50 | 2.5 ~ 4.7 |
| | 固定式・水平型 | 4 | 2.0 ~ 60 | 50 ~ 70 | 2.0 ~ 3.0 |
| | 移動式 | 2 | 1.6 ~ 22.4 | 60 ~ 70 | 9.5 |
| ジブ クレーン | 分解式 | 1 | 1.6 | 60 | 9.4 |
| | 固定式 | 2 | 4.2 ~ 60 | 70 ~ 170 | 15.5 ~ 17.1 |

9. 2. 2 前提、制約条件

クレーンの配置計画モデルの構築にあたり検討した項目、前提とした条件及び制約条件は次のとおり。

(1) 最適性とはクレーンの機械経費（機械損料と組立・解体費の和）を最小にすること。

(注1)

(2) 機械損料の算定は供用日数が基準。

(3) エレベーター、リフトなどクレーン以外の揚重方法との分担関係は事前に決定済。

従ってクレーンへの負荷は既に決定されており、変更せず。(注2)

(4) クレーンの能力のうちつり上げ、起伏、旋回など速度に関する能力差によって工事工程は変化せず。

(5) 検討の対象とするクレーンの範囲は表9. 2のクローラ・クレーン、タワークレーンとし、タワークレーンには定置式と走行式を考慮。

(6) 定置式タワークレーンは適宜支持、補強、クライミングにより高さに関する施工能力制限を排除。

(7) 移動式、走行式クレーンの場合は同一階は一台のクレーンで施工する。つまりある階の施工途中で使用クレーンを交替することはない。

(8) 定置式タワークレーンに限って2台以上の使用が可能。

(9) 揚重すべき地域は設置クレーンの作業半径内に入る。

(10) 各地域に必要とされる最大揚重トン数を設置クレーンは満足する。

(11) 各地域に必要とされる揚重高さを設置クレーンは満足する。

9. 2. 3 モデルの構築

(注1) いうまでもなく機械経費は単に機械損料および組立・解体費で構成されるものではなく、それ以外に運転経費、輸送費、修理施設費が含まれる。(※4) また機械損料だけに限ってもその原価配賦基準は運転時間、運転日数、供用日数または供用月数若しくはこれらの併用となっており(※3)、一律には扱いがたい。従ってここでは便宜上機械経費として機械損料、組立・解体費に限定した。なおこれら機械経費の内容と算定方法に関しては大規模土工を例にした研究がある。(※5)

(注2) エレベーター・リフト、クレーンなど複数揚重システムへの配分計画問題は非線型計画モデルとしての解法が提案されている。(※6)

各階を施工するクレーンの機械経費の総和をZとすると、目的関数は(1)式のごとく0-1整数計画問題として定式化できる。

〔目的関数〕

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (C_i d_{ij} f_{ij} + Q_i b_j f_{ij}) \rightarrow \text{最小化} \quad \dots\dots\dots (1)$$

〔制約条件〕

$$\sum_{i=1}^n f_{ij} = 1 \quad (j = 1, 2, \dots, m)$$

〔変数および係数の定義〕

C_i : i 種クレーンの1 供用日当り機械損料

d_{ij} : i 種クレーンで j 階を施工した時の供用日数

Q_i : i 種クレーンの組立, 解体費

$$f_{ij} = \begin{cases} 1 : i \text{ 種クレーンで } j \text{ 階を施工} \\ 0 : i \text{ 種クレーンで } j \text{ 階を施工せず} \end{cases}$$

$$b_j = \begin{cases} 1 : (j-1) \text{ 階と } j \text{ 階を同じクレーンで施工せず。} \\ 0 : (j-1) \text{ 階と } j \text{ 階を同じクレーンで施工 但し } b_1 = 1 \end{cases}$$

i : クレーンの種類 $1 \sim n$

j : 階数 $1 \sim m$

ここで問題は $f_{ij} \in \{0, 1\}$, ($i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, m$) の決定にある。すなわち j 階を i 種クレーンで施工することが可能かどうかの検討と施工可能な場合に実際に i 種クレーンで施工するか否かの決定問題である。

以下に示す最適配置を求める手順は端的にはこの f_{ij} の決定のための手続きである。

手順1は各種の移動式、走行式クレーンについて、今問題としている建物のうち施工することが可能な階数を求めるものである。

手順2では定置タワークレーンを使用した場合に、施工が可能かどうか。可能な場合、何台の定置式タワークレーンが必要で、その最適組合せと配置はどうかについて、0-1整数計画モデルとして定式化し、implicit enumeration methodによって解いている。この点に関しては高層建築を対象とした建物内クレーン配置計画問題の研究もあるが(*7)、本論文ではさらに拡張して建物外配置をも含むものとしている。

手順1, 2では要するに今問題としている建物を施工することが可能なクレーン(実際

に使用するか否かは別として）を各階毎に検討している。

次に手順3では手順1，2で確かめられた施工可能なクレーンを使って（1）式を満足する解を離散型ダイナミックプログラミング問題として定式化して求めている。

また手順2の定置式タワークレーンの0-1整数計画問題としての解法であるimplicit enumeration methodは、タワークレーンの設置可能な地域が多くなれば飛躍的に演算時間が長くなる。そのため特定条件下での問題の縮小と「対話型」と称した決定者の判断を有効に使った決定方法を導入してその演算時間の短縮をはかる方法について提案している。

9.3 最適化の手順

9.3.1 移動式、走行式クレーンの施工可能性の検討（手順1）

（1）目的

移動式、走行式クレーンの施工可能性を作業半径、揚重能力、高さ、作業域の点で検討し、次式の値を定める。

$$\text{const}(i, j) = \begin{cases} 1 : j \text{ 階を } i \text{ 種クレーンが施工可能 ((2) \sim (5) \\ \text{式を満足する}) \\ 0 : j \text{ 階を } i \text{ 種クレーンが施工不可能 ((2) \sim (5) \\ \text{式のいずれかを満足しない}) \end{cases}$$

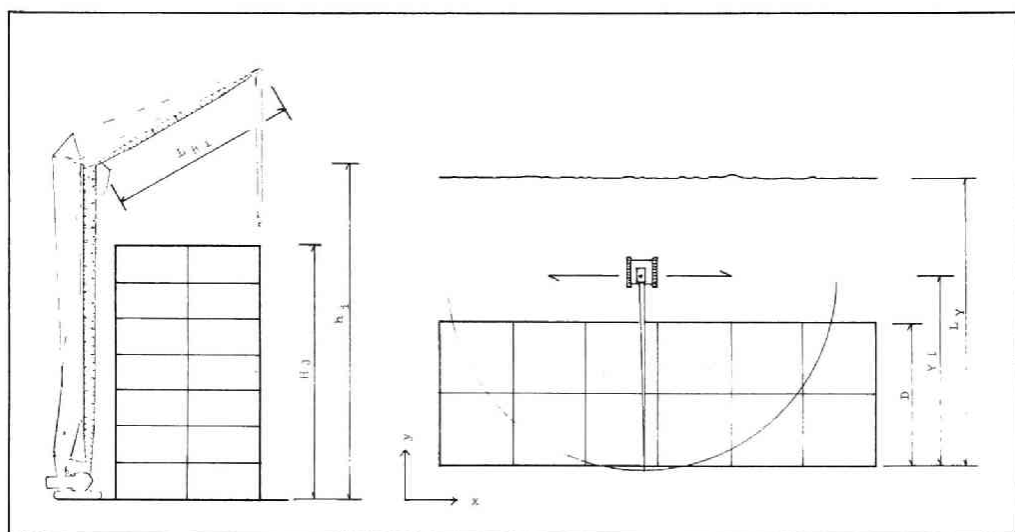


図9.2 移動式、走行式クレーンの工事現場モデル

(2) 工事現場のモデル化 (図9.2)

移動式、走行式クレーンの検討のため、工事現場を次のように考える。建物を縦、横方向はスパン長で、高さ方向は階高で分割し、当該部分の揚重物はすべて各コーナーにて揚重するものとする。クレーンの設置地域は図9.2のy軸方向に1m単位で可能とする。

(x軸方向については当初の前提条件及び後述の $W_{y,j}$ の定義より検討する必要はない。)

(3) 変数および係数の定義

L_y : y軸方向の敷地の広さ

Y_i : i種クレーンのy軸方向の位置

H_j : j階までの高さ

H : 建物の高さ

h_i : i種クレーンのタワー部分の高さ

L_{Bi} : i種クレーンのブーム長さ

R_i : i種クレーンの最大作業半径

$W_{(x,y),j}$: (x, y) 位置, j階の揚重物の最大重量

W_{yi} : i種クレーンの Y_i 位置での揚重能力

D : y軸方向建物の寸法

$W_{y,j}$: j階y位置でのx方向中最大重量

$$W_{y,j} = \max_x W_{(x,y),j}$$

(4) 条件式

作業域

$$Y_i \leq L_y \quad \dots\dots\dots (2)$$

作業半径

$$Y_i \leq R_i \quad \dots\dots\dots (3)$$

揚重能力

$$W_{y,j} \leq W_{yi} \quad \dots\dots\dots (4)$$

施工可能高さ

$$\frac{H_j - h_i}{Y_i - D} < \frac{\sqrt{L_{Bi}^2 - Y_i^2}}{Y_i} \quad \dots\dots\dots (5)$$

9.3.2 定置式タワークレーンの施工可能性と配置計画（手順2）

（1）目的

定置式タワークレーンの施工可能性を作業半径、揚重能力の点で検討し、工事現場全体の施工を可能とする定置式タワークレーンの最適組合せを求める。

（2）工事現場のモデル化（図9.3）

建物の分割方法および揚重物の位置は移動式、走行式クレーンと同様。建物外で定置式タワークレーンの設置可能地域は建物から1スパン以内とする。且つ建物の内外いずれにクレーンを設置する場合も各グリッドの中央に設置するものとする。

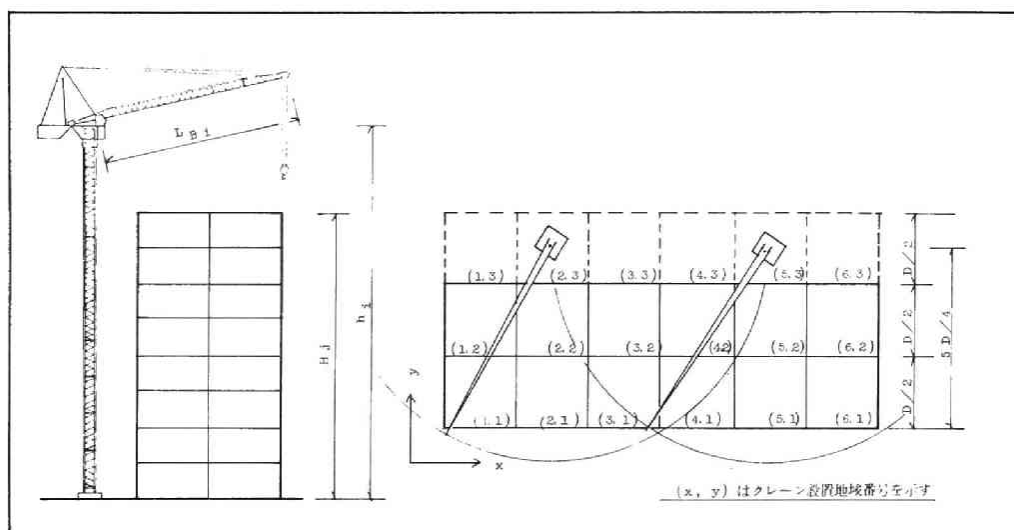


図9.3 定置式タワークレーンの工事現場モデル

（3）変数および係数の定義

A : x 軸方向のスパン数

B : y 軸方向のスパン数

(X, Y) : タワークレーンの設置可能地域

(X=1,2,...,A; Y=1,2,...,B)

(x, y) : 揚重物の (x, y) 平面上の位置

(x=1,2,...,A; y=1,2,...,B-1)

i : 定置式タワークレーンの種類, 1~N

C_i : i 種タワークレーンの1供用日当り損料

$$x_{i,(x,y)} = \begin{cases} 1 : i \text{ 種タワークレーンを } (X, Y) \text{ 地域に設置} \\ 0 : i \text{ 種タワークレーンを } (X, Y) \text{ 地域に設置せず} \end{cases}$$

R_i : i 種タワークレーンの最大作業半径

$W_{(x,y),j}$: (x, y) 地域, j 階での最大揚重トン数

$S_{(x,y),(x,y)}$: (X, Y) 地域に設置したクレーンから (x, y) 地域までの水平距離

$W_{i,S_{(x,y),(x,y)}}$: 作業半径 $S_{(x,y),(x,y)}$ での i 種タワークレーンの最大揚重トン数

$$a_{(x,y),i,(x,y)} = \begin{cases} 1 : R_i \geq S_{(x,y),(x,y)} , \quad \text{かつ} \\ \quad W_{i,S_{(x,y),(x,y)}} \geq W_{(x,y),j} \quad (j=1,2,\dots,m) \\ 0 : R_i < S_{(x,y),(x,y)} , \quad \text{あるいは} \\ \quad W_{i,S_{(x,y),(x,y)}} < W_{(x,y),j} \quad (j=1,2,\dots,m) \end{cases}$$

これをカバリング・マトリックスと呼ぶ。(注1)

(4) 目的関数

$$F = \sum_{i=1}^N \sum_{X=1}^A \sum_{Y=1}^B C_i x_{i,(x,y)} \rightarrow \text{最小化} \quad \dots\dots\dots (6)$$

(5) 制約条件

揚重地域は少なくとも1台のクレーンの作業範囲内でなければならないから

$$\sum_{i=1}^N \sum_{X=1}^A \sum_{Y=1}^B a_{(x,y),i,(x,y)} x_{i,(x,y)} \geq 1 \\ (x=1,2,\dots,A, \quad y=1,2,\dots,B-1) \quad \dots\dots\dots (7)$$

クレーン設置地域1ヶ所には1台のクレーンしか設置できないから

$$\sum_{i=1}^N x_{i,(x,y)} \leq 1 \\ (X=1,2,\dots,A, \quad Y=1,2,\dots,B) \quad \dots\dots\dots (8)$$

(6) 特殊な設置条件

(注1) カバリング・マトリックス $\{a_{(x,y),i,(x,y)}\}$ とは (X, Y) 地域を行に、 i と (x, y) の組合せを列にとったもので、このマトリックスの第 I 行、第 J 列はそれぞれ $I = (X-1) \times B + Y, J = A \times B \times (i-1) + I$

となる。図9.7参照。

例1：特定地域にはタワークレーン設置不可能

$$\sum_{i=1}^N x_{i,(x,y)} \leq 0 \quad (X, Y) : \text{設置不可能地域} \quad \dots\dots\dots (9)$$

例2：特定地域はT台のタワークレーンでカバー

$$\sum_{i=1}^N \sum_{x=1}^A \sum_{y=1}^B a_{(x,y),i,(x,y)} x_{i,(x,y)} \geq T_{(x,y)} \\ (x=1,2,\dots,A, \quad y=1,2,\dots,B-1) \quad \dots\dots\dots (10)$$

制約条件(7)，(8)式、場合によっては特殊な設置条件である(9)もしくは(10)式を満たし、(6)式を最小にする解が求められることは、定置式タワークレーンによる施工が可能であると同時に最適組合せが求められたことを意味している。逆に(6)式を最小にする解が存在しない場合は定置式タワークレーンでは施工できないことになる。

従って移動式、走行式クレーンで求めた $\text{const}(i,j) \in \{0,1\}$ と同様にして、定置式タワークレーンで施工可能な場合 $\text{const}(n+1, j) = 1$ (注1)，

不可能な場合 $\text{const}(n+1, j) = 0$ ($j=1,2,\dots,m$)

とする。

(7) 解法

(6)式は0-1 整数計画問題の解法であるimplicit enumeration method (体系的総数え法)によって解くことができる。(※8)しかし前述のとおりこの解法ではタワークレーンの設置可能地域の増加とともに実行可能解の数とそれを求める計算時間が飛躍的に増大する。その対策としてここでは二つの方法を検討する。一つは特定条件下での問題の縮小、他の一つは実行不可能な解の事前チェックである。

①問題の縮小(集合被覆問題の縮小方法の援用)集合被覆問題(次頁注1)における係数行列 $\{a_{ij}\}$ は次の探索により縮小することができる場合がある。(※9)

今 $\{a_{ij}\}$ の第 i 行を r_i ，第 j 列を a_j で表す。

i) $r_i = \{0\}$ ならば問題は実行不可能

→ある地域をカバーできるタワークレーンの組合せがないことを意味する。

(注1) $\text{const}(n+1,j) = 1$ の $(n+1)$ は移動式、走行式クレーンの種類の数を n としたときの定置式タワークレーンの最適組合せを示す。つまり定置式タワークレーンではその最適組合せ1組で定置式タワークレーンを代表させる。従って手順3の最小コストルート探索でのクレーンの種類の数は $(n+1)$ となる。

ii) $a_j = \{0\}$ ならば $x_j = 0$ として第 j 列を削除する。

→ある地域に設置されたタワークレーンがいずれの地域をもカバーできない。つまり設置しても意味がない。

iii) $r_i = e_k$ ならば $x_k = 1$ とする。次いで $a_{pk} = 1$ であるすべての p に対して第 p 行を削除し、第 k 列も削除する。

→ある地域をカバーできるタワークレーンとその設置位置が唯一つである。従って当該位置にタワークレーンを設置する。そうすると当該設置位置でカバーされる地域は $a_{ij} x_j \geq 1$ となるので除外でき、設置位置についても削除する。(クレーンの機種ごとに削除すべき地域が一ヶ所ずつ存在する)

iv) $r_i \geq r_p$, $i \neq p$ ならば、第 i 行を削除する。

→ある地域をカバーするためには少なくとも1ヶ所にタワークレーンが設置されなければならない設置地域の集合があり、また他の地域では同じ設置地域でありながらその数が少ない場合、前者より後者の方が条件が厳しく、前者は後者におきかえることができる。

v) $\sum_{j \in J} a_j \geq a_k$, $\sum_{j \in J} C_j \leq C_k$ となる k を含まない N の部分集合 J が存在すれば、 x_k

(注1) 集合被覆問題とは次のものをいう。(※9)

「集合 $M = \{1, \dots, m\}$ と M の部分集合の族 $\{P_1, \dots, P_n\}$ が与えられたとき、添字の集合 $N = \{1, 2, \dots, n\}$ の部分集合 K が

$$\bigcup_{j \in K} P_j = M$$

をみたすなら、集合族 $\{P_j \mid j \in K\}$ は M の被覆であるという。

各 P_j に非負の費用 C_j が対応しているとき、集合 K の費用を $\sum_{j \in K} C_j$ とする。費用が最小の被覆を求める問題を集合被覆問題という。ここで

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & : i \in P_j \\ 0 & : i \notin P_j \end{cases}$$

$$x_j = \begin{cases} 1 & : j \in K \\ 0 & : j \notin K \end{cases}$$

とおくと、集合被覆問題は

$$\text{最小化 } z = \sum_{j \in N} C_j x_j$$

$$\begin{aligned} \text{条件 } & \sum_{j \in N} a_{ij} x_j \geq 1, \quad i \in M \\ & x_j \in \{0, 1\}, \quad j \in N \end{aligned}$$

= 0 として第 k 列を削除する。

→いくつかのタワークレーンの機種とその設置位置を足しあわせることにより、足しあわせた地域を除く他の地域よりもカバーされる地域が広くなり、一方そのための機械損料が他の地域より安い場合には当該他地域は削除することができる。（足しあわせた方が安あがり）

なおこの問題の縮小の場合、制約条件は $\sum_{j \in N} a_{ij} x_j \geq 1$ であり、特定地域が 2 台以上のクレーンでカバーされる条件、(10) 式などが付加された場合は別の工夫を要する。

②実行不可能な解の事前検討

ここで扱っている 0-1 整数計画問題は端的には検討中の工事現場に何台の定置式タワークレーンをどの地域に配置すれば制約条件を満足し、(6) 式が最小になるかを決定することである。従って先に求められるカバリング・マトリックスを参照しつつ、タワークレーン 1 台で施工不可能な場合とか、複数台でも意味のない配置といった情報を入力することにより一定程度時間短縮がはかれる。

9. 3. 3 最小コストルート探索 (手順 3)

(1) 変数および係数の定義

目的は (1) 式の最小化であるが、ここでダイナミックプログラミング問題として定式化するため、変数及び係数を次のとおり定義する。

C_i : i 種クレーンの 1 供用日当り機械損料

$d_{i,j}$: i 種クレーンで j 階を施工した時の供用日数

$t_{i,j}$: i 種クレーンで j 階を施工した時の機械損料 ($t_{i,j} = C_i \times d_{i,j}$)

D_i : i 種クレーンの解体費

E_k : k 種クレーンの組立費

$z_{k,j}$: j 階を k 種クレーンで施工した場合の 1 階からの最小コスト (ただし k 種クレーンの解体費は含まず)

$$g_{i,k} = \begin{cases} 1 : i \neq k \\ 0 : i = k \end{cases} \quad \text{ただし } (j-1) \text{ 階を } i \text{ 種クレーン、} \\ j \text{ 階を } k \text{ 種クレーンで施工したとする。}$$

z_m : 最適配置計画での機械経費

(2) モデルの構築

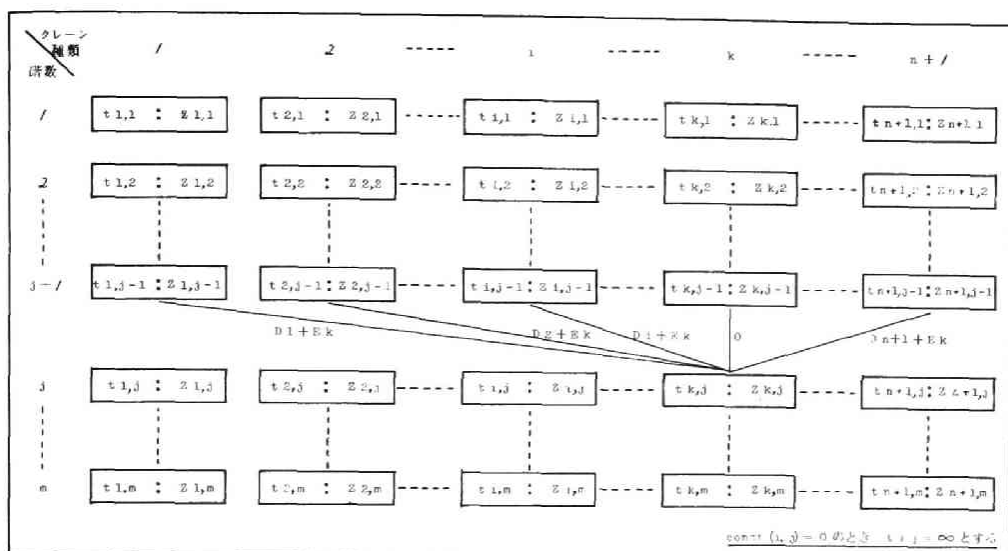


図 9. 4 最小コストルート探索図

検討中のクレーンの種類と階数を図 9. 4 のごとくおく。

いま j 階を k 種クレーンで施工すると仮定すると、 $(j-1)$ 階を同じ k 種クレーンで施工しておれば、クレーンの組立、解体費は必要としない。異なる i 種クレーンで施工していたとすれば、 i 種クレーンの解体費に加えて k 種クレーンの組立費が必要となる。これらに機械損料を加えれば $(j-1)$ 階を i 種クレーンで施工し、 j 階を k 種クレーンで施工した時の機械経費が求められる。これは一般に多段選択過程の最適進路問題として定式化でき (* 10)、次の関数方程式を得る。

(ここに (1) 式の Z を最小化することと、(12) 式の z_n を求めることは等しい)

$$z_{k,j} = \min_i \{ z_{i,j-1} + t_{k,j} + (D_i + E_k) \times g_{i,k} \} \quad \cdots \cdots \cdots (11)$$

$$\text{但し } z_{k,1} = t_{k,1} + E_k \quad (k=1,2,\cdots,n+1)$$

$$z_n = \min_k \{ z_{k,n} + D_k \} \quad \cdots \cdots \cdots (12)$$

9. 3. 4 モデルのフローチャートおよび出力例

前項の手順をフローチャートで示す。(図 9. 6) 入力情報と出力例を図 9. 5, 9. 7 に示す。出力例は後述の適用事例の 1 つである。簡単に説明しておく。

図 9. 7-1 は検討対象のクレーンリスト。図 9. 7-3 は手順 2 の最適解。つまり定置式タワークレーン (以下 T. C と略す) による施工の場合にはクレーンリストの No. 17 の T. C 2 台を地域 [1, 3], [7, 3] に設置する組合せが機械経費を最小にする。

| | |
|----------------------|--|
| 1. クレーン データ | <ul style="list-style-type: none"> ・揚重能力, 作業半径, タワーの高さ, ブーム長さ, 機械損料, 組立・解体費 |
| 2. 各階供用日数 | |
| 3. 建物概要 | <ul style="list-style-type: none"> ・X軸方向 - スパン数, / スパン長 ・Y軸方向 - スパン数, / スパン長 ・階数, / 階当り階高, 揚重地域・階数別最大揚重トン数 (若しくは全揚重物の地域・階数別重量リスト) |
| 4. 敷地条件 | <ul style="list-style-type: none"> ・Y軸方向での敷地の広さ |
| 5. クレーン設置上の制約 | <ul style="list-style-type: none"> ・建物内設置の可否, 定置式タワークレーンの使用台数制限 ・設置不可能な地域, その他の特殊条件 |
| 6. 定置式タワークレーンの配置決定方法 | <ul style="list-style-type: none"> ・対話型? |

図9.5 入力情報リスト

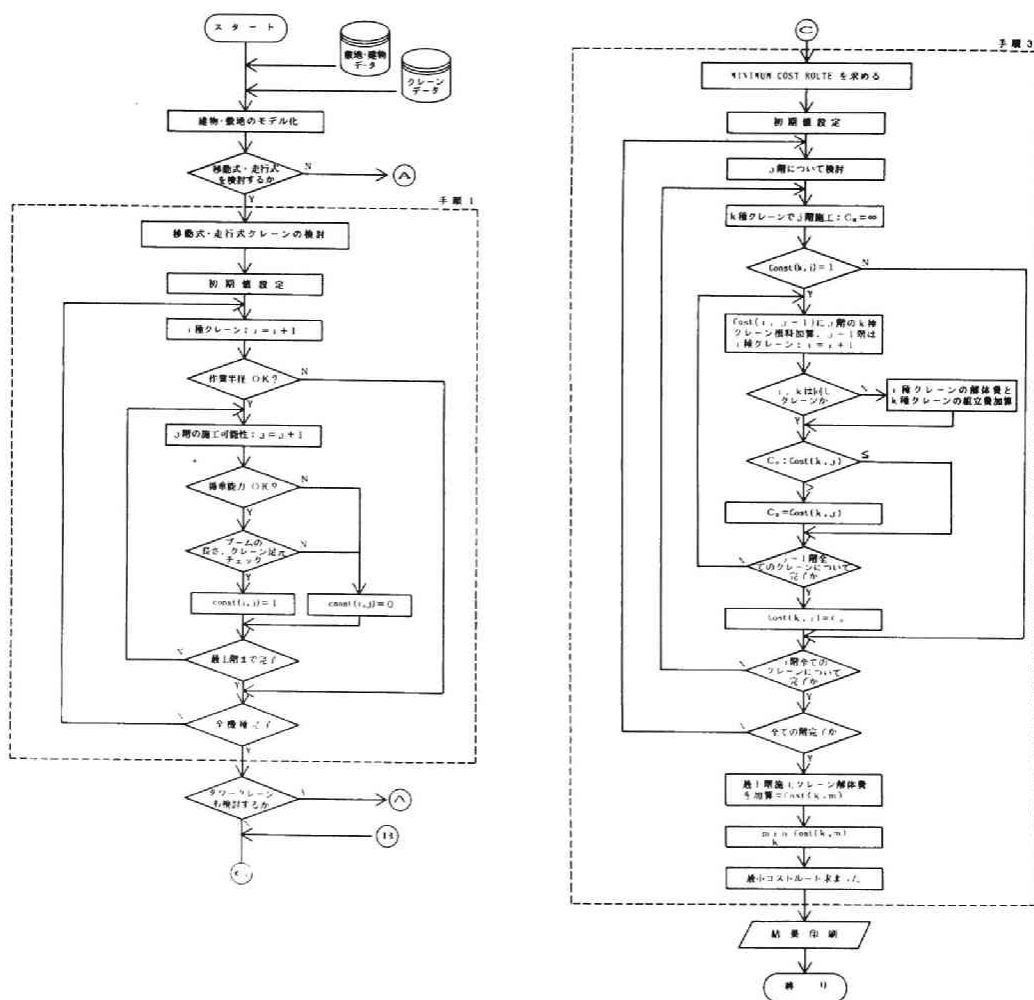


図9.6-1 クレーン配置計画モデルのフローチャート

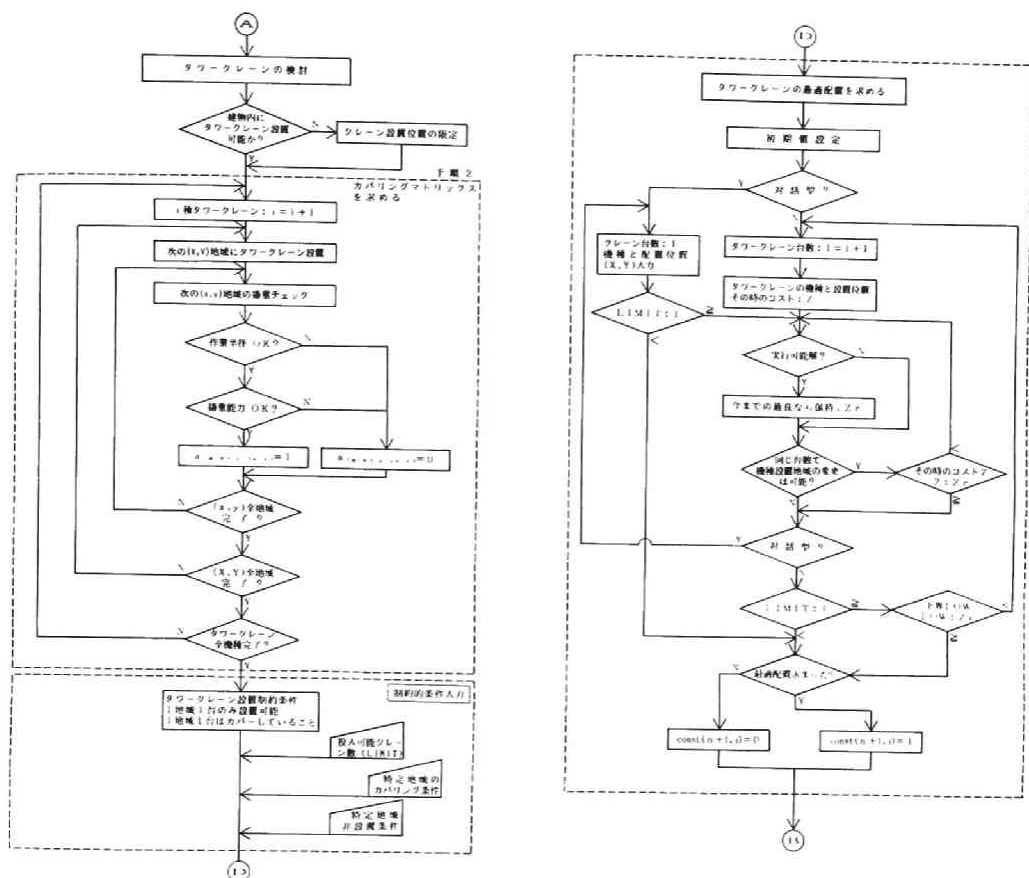


図9.6-2 クレーン配置計画モデルのフローチャート

***** クレーンリスト *****

| クレーンNO. NO. | クレーン タイプ | 自重 t | 吊钩高 m | 吊钩幅 m | 吊钩重 t | 吊钩幅 m | 吊钩重 t | 吊钩幅 m | 吊钩重 t | 吊钩幅 m |
|----------------|-------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 01 | 3 | 24 | 16 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 22 | |
| 02 | 3 | 30 | 20 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 28 | |
| 03 | 3 | 35 | 30 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 30 | |
| 04 | 3 | 52 | 60 | 0 | 0 | 9 | 2 | 1 | 40 | |
| 05 | 3 | 60 | 85 | 0 | 0 | 15 | 4 | 2 | 45 | |
| 06 | 3 | 83 | 131 | 0 | 0 | 21 | 4 | 2 | 61 | |
| 07 | 3 | 31 | 26 | 0 | 0 | 4 | 6 | 3 | 20 | |
| 08 | 3 | 43 | 30 | 0 | 0 | 6 | 6 | 3 | 32 | |
| 09 | 3 | 52 | 31 | 0 | 0 | 8 | 6 | 3 | 34 | |
| 10 | 3 | 58 | 54 | 0 | 0 | 14 | 8 | 5 | 38 | |
| 11 | 3 | 81 | 162 | 0 | 0 | 22 | 8 | 5 | 54 | |
| 12 | 3 | 20 | 81 | 36 | 0 | 8 | 10 | 6 | 20 | |
| 13 | 3 | 22 | 98 | 39 | 0 | 9 | 10 | 6 | 22 | |
| 14 | 3 | 31 | 144 | 41 | 0 | 10 | 12 | 8 | 31 | |
| 15 | 3 | 34 | 120 | 32 | 0 | 10 | 100 | 40 | 30 | |
| 16 | 3 | 44 | 120 | 33 | 0 | 16 | 120 | 40 | 40 | |
| 17 | 3 | 30 | 35 | 100 | 0 | 4 | 24 | 16 | 30 | |
| 18 | 3 | 32 | 60 | 100 | 0 | 5 | 24 | 16 | 32 | |
| 19 | 3 | 34 | 120 | 100 | 0 | 8 | 28 | 20 | 30 | |
| 20 | 3 | 44 | 120 | 100 | 0 | 13 | 28 | 20 | 40 | |

図9.7-1 検討対象クレーンリスト

カバリングマトリックス

| | | タワー・クレーンの機種と設置地域 | | | | 制約条件(7),(8) 式の右辺の値 | |
|------------------|--------|------------------|-----------|------------|------------|-----------------------|--|
| | | No.17 T.C | No.18 T.C | No.19 T.C | No.20 T.C | | |
| 揚 重 地 域 | (1,1) | [1]111 | 11111 | 1111 | 111111 |] >= [1] | |
| | (1,2) | [1]1111 | 11111 | 11111 | 111111 |] >= [1] | |
| | (1,3) | [1]1111 | 11111 | 11111 | 1111111 |] >= [1] | |
| | (2,1) | [1]1111 | 111111 | 11111 | 1111111 |] >= [1] | |
| | (2,2) | [1]11111 | 111111 | 111111 | 1111111 |] >= [1] | |
| | (2,3) | [1]11111 | 111111 | 111111 | 11111111 |] >= [1] | |
| | (3,1) | [1]11111 | 1111111 | 111111 | 11111111 |] >= [1] | |
| | (3,2) | [1]111111 | 1111111 | 1111111 | 11111111 |] >= [1] | |
| | (3,3) | [1]111111 | 1111111 | 1111111 | 111111111 |] >= [1] | |
| | (4,1) | [1]1111111 | 11111111 | 1111111 | 111111111 |] >= [1] | |
| | (4,2) | [1]1111111 | 11111111 | 11111111 | 111111111 |] >= [1] | |
| | (4,3) | [1]1111111 | 11111111 | 11111111 | 1111111111 |] >= [1] | |
| | (5,1) | [1]1111111 | 111111111 | 1111111 | 1111111111 |] >= [1] | |
| | (5,2) | [1]11111111 | 111111111 | 111111111 | 1111111111 |] >= [1] | |
| | (5,3) | [1]11111111 | 111111111 | 111111111 | 1111111111 |] >= [1] | |
| | (6,1) | [1]1111111 | 111111111 | 11111111 | 1111111111 |] >= [1] | |
| | (6,2) | [1]11111111 | 111111111 | 111111111 | 1111111111 |] >= [1] | |
| | (6,3) | [1]11111111 | 111111111 | 1111111111 | 1111111111 |] >= [1] | |
| | (7,1) | [1]1111111 | 111111111 | 11111111 | 111111111 |] >= [1] | |
| | (7,2) | [1]11111111 | 111111111 | 111111111 | 111111111 |] >= [1] | |
| | (7,3) | [1]11111111 | 111111111 | 1111111111 | 111111111 |] >= [1] | |
| | (8,1) | [1]1111111 | 11111111 | 1111111 | 11111111 |] >= [1] | |
| | (8,2) | [1]1111111 | 11111111 | 11111111 | 11111111 |] >= [1] | |
| | (8,3) | [1]1111111 | 11111111 | 11111111 | 111111111 |] >= [1] | |
| | (9,1) | [1]111111 | 1111111 | 111111 | 1111111 |] >= [1] | |
| | (9,2) | [1]111111 | 1111111 | 111111 | 1111111 |] >= [1] | |
| | (9,3) | [1]111111 | 1111111 | 111111 | 1111111 |] >= [1] | |
| | (10,1) | [1]11111 | 111111 | 1111 | 111111 |] >= [1] | |
| | (10,2) | [1]11111 | 111111 | 11111 | 111111 |] >= [1] | |
| | (10,3) | [1]11111 | 111111 | 11111 | 1111111 |] >= [1] | |
| T.C 設置 地域 | (1,3) | [1]1 | 1 | 1 | 1 |] <= [1] | |
| | (2,3) | [1]1 | 1 | 1 | 1 |] <= [1] | |
| | (3,3) | [1]1 | 1 | 1 | 1 |] <= [1] | |
| | (4,3) | [1]1 | 1 | 1 | 1 |] <= [1] | |
| | (5,3) | [1]1 | 1 | 1 | 1 |] <= [1] | |
| | (6,3) | [1]1 | 1 | 1 | 1 |] <= [1] | |
| | (7,3) | [1]1 | 1 | 1 | 1 |] <= [1] | |
| | (8,3) | [1]1 | 1 | 1 | 1 |] <= [1] | |
| | (9,3) | [1]1 | 1 | 1 | 1 |] <= [1] | |
| | (10,3) | [1]1 | 1 | 1 | 1 |] <= [1] | |

図9. 7-2 カバリングマトリックス

図9. 7-2はその組合せを求めるための検討資料で、手順2というカバリング・マトリックスとT. Cの設置地域、制約条件式(7)～(10)が表現されている。同図の下段が設置地域で数値1は当該地域にT. Cを設置、空欄は設置していないことを表す。あるT. C設置地域Pが1である列の上の揚重地域には当該地域Pに設置したT. Cが揚重負荷、作業半径等の条件をすべて満足した場合1、そうでない場合空欄で表現。不等式の右辺は制約条件式(7)～(10)式の右辺の値が入る。図9. 7-3の最適解の設置地域を実線で示す。この場合たとえば揚重地域〔5, 1〕は〔1, 3〕に設置したNo. 17のT. Cでカバーされている。また揚重地域〔5, 2〕は〔1, 3〕, 〔7, 3〕の両地域のT. Cでカバーされている。図9. 7-5は最小コストルートつまり1階から最上階まで施工するクレーンの組合せを求めるステップで、結果が図9. 7-4にある(手順3)。

図9.7-5の*印は当該階を当該No.のクレーンでは施工できないことを示し、手順1で検討した結果である。図9.7-5のNo.17クレーンは図9.7-1というクレーンNo.とは異なり、手順2で求めた定置式T.Cの最適組合せの意味である。つまりこの例の場合はNo.17T.C2台を総称してNo.17クレーンとしている。こうすることによってNo.1～No.16までの移動式、走行式クレーンとT.Cとの比較検討が可能となる。

COMBINATION OF TOWER-CRANE = 2

CRANE NUMBER = 17 LOCATION (1, 3)

CRANE NUMBER = 17 LOCATION (7, 3)

図9.7-3 手順2の最適解

***** MINIMUM COST OF CRANE = 1104

--- ソフトウェア プレセント カイズ ---

15カイ --- CRANE NO. 14

14カイ --- CRANE NO. 14

13カイ --- CRANE NO. 12

12カイ --- CRANE NO. 12

11カイ --- CRANE NO. 12

10カイ --- CRANE NO. 12

9カイ --- CRANE NO. 12

8カイ --- CRANE NO. 12

7カイ --- CRANE NO. 12

6カイ --- CRANE NO. 8

5カイ --- CRANE NO. 8

4カイ --- CRANE NO. 8

3カイ --- CRANE NO. 7

2カイ --- CRANE NO. 7

1カイ --- CRANE NO. 1

図9.7-4 手順3の最適解

9.4 モデルの適用と結果の考察

図9.7に示す20種類のクレーンが使用可能であり、工事現場を階数と揚重物の最大重量が異なるように表9.3のごとく与えたとき、クレーンの最適配置とその時のコストは同表のとおり。

表9.3 適用事例

(費用単位：万円)

| X軸方向 スパン数 | X軸方向 スパン長 | Y軸方向 スパン数 | Y軸方向 スパン長 | 階数 | 揚重物 重量 | 各 階 供用日数 | 最適クレーン配置 | その時の費用 | 最上階建設クレーンで全体を施工した時の費用 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|----|-----------|----------------|---|--------|-----------------------|
| 10 | 6 m | 2 | 6 m | 13 | 5 t | 10 | 1F ~ 13F 底/2クレーン | 1276 | 1520 |
| | | | | | 3 t | 10 | 14F ~ 15F 底/4クレーン | | |
| | | | | | 2 t | 10 | 1F ~ 2F 底/3 3F ~ 13F 底/2 14F ~ 15F 底/4 | 1236 | |
| | | | | | 1 t | 10 | 1F 底/1 2F ~ 3F 底/7 4F ~ 6F 底/8 7F ~ 13F 底/2 14F ~ 15F 底/4 | 1104 | |
| | | | | 30 | 5 t | 10 | 1F ~ 13F 底/2 14F ~ 16F 底/4 17F ~ 30F 底/9×2台 | 3712 | 4896 |
| | | | | | 3 t | 10 | 1F ~ 13F 底/2 14F ~ 16F 底/4 17F ~ 30F 底/20 | 3244 | 3948 |
| | | | | | 2 t | 10 | 1F ~ 2F 底/3 3F ~ 13F 底/2 14F ~ 30F 底/7, 底/8 | 2626 | 2780 |
| | | | | | 1 t | 10 | 1F 底/1 2F ~ 3F 底/7 4F ~ 6F 底/8 7F ~ 30F 底/7×2台 | 2308 | 2480 |

この結果より次のことがいえる。

工事現場の平面形は一辺が6mの正方形グリッド、長さ60m、奥行12mである。たとえば30階建の建物を考えると、揚重物の最大重量が5tから3, 2, 1tへと変化する

| ***** CRANE COST ***** | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|------|-------|--------|---------|--------|----------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | NO.1 | NO.2 | NO.3 | NO.4 | NO.5 | NO.6 | NO.7 | NO.8 | NO.9 | NO.10 | NO.11 | NO.12 | NO.13 | NO.14 | NO.15 | NO.16 | NO.17 |
| COST TO | 1 F | 1- 30 | 2- 50 | 3- 60 | 4- 92 | 5- 154 | 6- 214 | 7- 46 | 8- 66 | 9- 86 | 10- 148 | 11- 228 | 12- 90 | 13- 100 | 14- 112 | 15- 200 | 16- 280 | 17- 128 |
| COST TO | 2 F | *- 1- | 80 1- | 90 1- | 122 1- | 184 1- | 244 1- | 1- 76 | 1- 96 | 1- 116 | 1- 178 | 1- 258 | 1- 120 | 1- 130 | 1- 142 | 1- 230 | 1- 310 | 1- 158 |
| COST TO | 3 F | *- * | *- 7- | 139 7- | 171 7- | 233 7- | 293 7- | 7- 116 | 7- 145 | 7- 165 | 7- 227 | 7- 307 | 7- 169 | 7- 179 | 7- 191 | 7- 279 | 7- 359 | 7- 207 |
| COST TO | 4 F | *- * | *- 7- | 179 7- | 211 7- | 273 7- | 333 *- | *- 7- | 185 7- | 205 7- | 267 7- | 347 7- | 209 7- | 219 7- | 231 7- | 319 7- | 399 7- | 247 |
| COST TO | 5 F | *- * | *- 3- | 271 3- | 333 3- | 393 *- | *- 8- | 245 3- | 265 3- | 327 3- | 407 3- | 269 3- | 279 3- | 291 3- | 379 3- | 459 3- | 307 | |
| COST TO | 6 F | *- * | *- 8- | 340 8- | 402 8- | 462 *- | *- 8- | 305 8- | 334 8- | 396 8- | 476 8- | 338 8- | 348 8- | 360 8- | 448 8- | 528 8- | 376 | |
| COST TO | 7 F | *- * | *- 8- | 400 8- | 462 8- | 522 *- | *- 8- | 394 8- | 456 8- | 536 8- | 398 8- | 408 8- | 420 8- | 508 8- | 588 8- | 436 | | |
| COST TO | 8 F | *- * | *- 9- | 489 9- | 551 9- | 611 *- | *- 9- | 474 9- | 545 9- | 625 12- | 478 9- | 497 9- | 509 9- | 597 9- | 677 17- | 516 | | |
| COST TO | 9 F | *- * | *- 9- | 631 9- | 691 *- | *- 9- | 625 9- | 705 12- | 558 9- | 577 9- | 589 9- | 677 9- | 757 17- | 596 | | | | |
| COST TO | 10 F | *- * | *- 12- | 718 12- | 778 *- | *- 12- | 792 12- | 638 12- | 664 12- | 676 12- | 764 12- | 844 17- | 676 | | | | | |
| COST TO | 11 F | *- * | *- 12- | 858 *- | *- 12- | 872 12- | 718 12- | 744 12- | 756 12- | 844 12- | 924 17- | 756 | | | | | | |
| COST TO | 12 F | *- * | *- 12- | 938 *- | *- 12- | 952 12- | 798 12- | 824 12- | 836 12- | 924 12- | 1004 17- | 836 | | | | | | |
| COST TO | 13 F | *- * | *- 12- | 1018 *- | *- 12- | 1032 12- | 878 12- | 904 12- | 916 12- | 1004 12- | 1084 17- | 916 | | | | | | |
| COST TO | 14 F | *- * | *- 12- | 1098 *- | *- 12- | 1112 *- | *- 12- | 984 12- | 996 12- | 1084 12- | 1164 17- | 996 | | | | | | |
| COST TO | 15 F | *- * | *- 13- | 1206 *- | *- 13- | 1223 *- | *- 13- | 1223 *- | *- 14- | 1104 *- | *- 13- | 1310 17- | 1108 | | | | | |

図9.7-5 最小コストルート探索

るのに伴って最適なクレーン配置は大幅に異なってくる。

15階建では揚重物の最大重量が5tと3tで同じクレーン配置となっている。つまりこの場合機械経費の点では揚重物の最大重量が5tであろうと、3tであろうと同じ費用であるので、揚重物の最大重量を5tに設定して揚重物の数量を低減するのが有利と解される。

これらを一般的にまとめると次のとおり。

①同じ平面形、揚重負荷の場合でも工事現場の階数によりそのクレーン配置の組合せは異なる。

②平面形、階数が同じ場合でも、揚重負荷の違いはクレーン配置の組合せを大幅にかえる。

③通常行われている最上階まで建設可能なクレーンを当初より配置することと本モデルでの配置計画とには機械経費の点で相当程度のひらきがある。

④各階供用日数の変化はクレーン配置にも影響する。これはクレーンの組立・解体費と機械損料との関係による。

⑤端的には機械損料が安いクレーンはその施工能力限界まで使用し、次のクレーンに交替するといった手段が有利である。

⑥本モデルではクレーン能力、投入台数にかかわらず工事工程は変化しないとしているが、変化させた場合の考慮は今後の問題である。

9.5 まとめ

従来のように現場担当者が経験に基づいて主観的に決定する方法では、合理的、客観的に最適計画案を求めることは困難で、担当者が変われば異なる計画案が作成される可能性が強い。情報が一定程度詳細化した施工計画プロセスにおいてそうである。従って情報量が少なく、不確実性が高い基本設計プロセスでは配置計画案は乏しい経験か、まったく経験がない状況で決定される。あるいは計画しないこともある。本モデルはその決定過程に論理的手順を導入することを意図したもので、適用事例でみたように実用化への可能性と有効性は確認できた。もっともここで提案したモデルは問題を二つの点で単純化してとらえている。一つはモデルに含まれる変数の種類、内容の単純化であり、二つは超高層を中心にしたため適用対象を単一の建物に限定していることである。前者については今後は一層現実的な、妥当性の高いモデルに拡張していくことにし、後者についてつまり団地建設

等複数棟を対象とした揚重計画問題を次章で論述する。

いずれにせよ基本設計プロセスでの概略施工計画の計画システムの重要性が確認でき、揚重計画を例にそのシステム構築が達成できた。

参 考 文 献

- * 1) 古阪秀三：揚重用クレーンの配置計画に関する研究その1，日本建築学会論文報告集No.344 pp146~153，1984.10
- * 2) S.FURUSAKA、C.GRAY：A model for the selection of the optimum crane for construction site,Construction Management and Economics,vol.2 no.2,pp157~176, Autumn1984
- * 3) 建設大臣官房建設機械課監修：建設機械等損料算定表昭和56年度版，（社）日本建設機械化協会，1981.4
- * 4) 建設省機発第48号：請負工事機械経費積算要領，昭和56,2.16 改正
- * 5) 山本幸司：土木工事における施工計画のシステム化に関する研究，京都大学学位論文，1978
- * 6) 嘉納成男：揚重計画へのシステムズ・アプローチ2，建築と積算，1976.10
- * 7) たとえば
田村恭、嘉納成男他：工事計画および管理のシステム化，施工，1975.2
- * 8) T.C.HU著、伊理正夫監訳：整数計画法とネットワークフロー，培風館，1975.10
- * 9) 今野浩、鈴木久敏編：整数計画法と組合せ最適化，日科技連，1982.6
- * 10) 鍋島一郎：動的計画法，森北出版，1976.7

第10章 基本設計プロセスでの大規模団地建設プロジェクトの施工計画の最適化

10.1 はじめに

本章の目的は前章と同じく基本設計プロセスでの物的設計支援の施工計画システムを構築することにあるが、現状の基本設計プロセスで施工計画が作成されることは少ないため、施工計画プロセスでの計画過程を中心に論述する。

企画・設計段階から施工に至る過程での施工計画立案の現状と問題は集合住宅プロジェクトの各種の決定問題として第I編で詳述した。また第9章では基本設計プロセスで概略にせよ施工計画が作成されることは稀で、施工計画プロセスで初めて検討されることが一般的であり、その場合でも現場担当者が短期間に施工計画を作成せねばならないことが多く、数少ない代替案の検討と経験に基づいた決定を行っていることを指摘した。次に施工計画の主要な部分であるクレーンの配置計画に検討を加え、その最適配置決定モデルを構築した。このモデルは主として単独棟でのクレーン機種、台数の選択問題を扱ったものである。しかし大規模団地建設プロジェクトに代表される多数棟建設現場に揚重用クレーンを配置する場合はこれとは異なった論理構成、手順をもってその決定が行われる。

本論文4.1節でみた躯体建方計画の策定過程では多数棟への割当てを4種類のクレーンについて、それぞれ1棟を1台のクレーンで施工する場合、2棟を1台のクレーンで施工する場合、3棟を1台のクレーンで施工する場合、の三とおりの基本SNを作成することから始めて全体工期におさまるか否かを検討している。これ以外のクレーン種類、基本SNが作成されることはなかった。この基本SNとクレーン種類をいかなる方法論で組合せ、全体の建方計画を作成したかは判然とせず、手作業による思考錯誤的な方法であったと目される。その決定過程には三つの点で問題がある。一つは1台のクレーンでの施工棟数を三棟までに限定している点。二つはクレーンの機種を4種類に限定している点。この二つは代替案の範囲を極度に狭めている。三つは思考錯誤的で最適性の保証がない点である。

そこで本章では基本設計プロセスで大規模団地建設等面的な広がりを持った多数棟建設現場に揚重用クレーンを配置する場合の決定モデルを構築する。

以下10.2節では既存の研究との関連および本章での配置計画モデルの概要についてふれ、10.3, 4, 5節でモデルの開発を行う。まず10.3節で n/m ジョブ問題(注1)のシミュレーションモデルの作成手順を述べる。次に10.4節でシミュレーションの結果の考察を行い、10.5節で最適配置計画の決定モデルを定式化し、その解法に

について述べる。さらに10.6節で本モデルの適用結果とその考察を行う。10.7節は本章のまとめである。

10.2 配置計画モデルの概要

10.2.1 既存研究との関連

ここでとりあげようとしている問題は、具体的には「 n 棟建設現場で、契約工期を厳守し、クレーンの機械経費の最小化を達成するためには、どの機種のクレーンを何台投入し、どのように施工すればよいか」という問題と考えてよい。この種の問題を定量的に扱う手法にはスケジューリング、PERTなどがある。しかしスケジューリングの n/m ジョブショップ問題（注2）の一般的解法は未だ開発されておらず、また n/m ジョブショップ問題をそのまま利用することには無理がある。（*4）

一方PERT手法は一定の技術的順序関係を設定し、それにもとづいて日程計画を作成するためのものであり、時間的に当該工事の施工が完了できるか否かに関心が払われている。必ずしも経済的に有利な案を選定する方法ではない。

従ってここでとりあげる問題を解決するための配置計画モデルは新たに開発せざるを得ない。

10.2.2 配置計画モデルの概要

配置計画モデルは主として二つの部分から構成される。第一は、設計条件、施工条件などを考慮して、システム・シミュレーションによって利用可能なクレーンとその施工方法の組合せから実行可能な代替案を作成する。第二は、用意された代替案の中から契約工期におさまり、且つクレーンの機

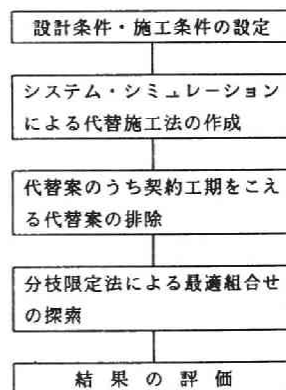


図10.1
配置計画モデルの概要

（注1） n/m ジョブショップ問題とは n 棟建設時に m 台のクレーンを投入した場合の最適施工法を求める問題をいう。

（注2） n/m ジョブショップ問題とは、日程計画問題のなかで n 個の仕事を m 台の機械にかけるかけ方をどうしたら妥当な評価尺度のもとで最もよいかを問題にするものである。ジョブショップとは仕事によってかけるべき機械の順序が異なる場合をいい、同じ場合はフローショップという。（*7）

械経費が最小となる代替案群を分枝限定法（注1）を使って選定し、概略工事計画とクレーン山積みを作成する。以上の手順を図10.1に示す。

10.3 シミュレーション・モデルの作成

10.3.1 シミュレーション・モデルの前提

シミュレーションの目的は n 棟建設時に m 台クレーンを投入した場合（ n/m ジョブ問題）の最適施工法とその場合の所要工期、クレーンの機械経費を求めること。

シミュレーション・モデルは以下の条件を前提として作成した。

（1）最適施工法とはクレーンの機械経費を最小とする施工法である。（機械経費には機械損料、運転経費等が含まれるが（*1）、ここでは便宜上機械損料に限定する。）

（2）クレーンの機械経費は供用日を単位とする。

（3）施工法はシステム側で用意したものである。現場経験者の経験の加味は別途考慮する。

（4）複数棟の施工に複数台のクレーンを投入すると施工法によって工事完了日が異なる場合がある。その場合工期算定上は最も遅い日を工事完了日とみなす。

（5）ここでいう契約工期とは請負契約上の予定工期よりクレーン作業に割当てられた期間をいう。

（注1）分枝限定法とは、与えられた問題を直接解くことが困難な場合、その問題をいくつかの小規模な問題に分解し、そのすべてを解くことで等価的にもとの問題を解こうとするもので、この考えを分解によって生成された問題にもつぎつぎと適用し分解を進めて行く。これを分枝操作といい、分枝限定法の第1の構成要素である。次に、全ての部分問題を解くのは無駄であるので、全部分問題の一部分のみを実際に処理するように工夫する。これを限定操作といい次の2つの性質を使う。

（1）ある部分問題 P_i の最適解が何らかの方法で求めれば、 P_i をさらに分解する必要はない。

（2）ある部分問題 P_i （およびそれから生成される部分問題）がもとの問題 P_0 の最適解を与えないことが何らかの理由によって結論できれば、 P_i をさらに分解する必要はない。

なお分枝限定法は最適化問題を解くためのストラテジ（strategy）であって、問題ごとにその特殊性を生かして、専用アルゴリズムを作成せねばならない。（*5）

- (6) 投入されるクレーンは当該工事の施工がすべて可能なものである。
- (7) ある階が完成した場合でも、1日の途中ではクレーンの移動は行わない。
- (8) 1棟もしくは複数棟を共同で施工する場合は同一機種のクレーンとする。
- (9) クレーンを他棟に移動する場合、クレーン作業終了後、1日の作業終了時刻までに移動に要する時間の1/2以上の時間的余裕がないと翌日移動させるものとする。
- (10) クレーン揚重時の巻上げ速度は巻下げ速度の1/2とする。
- (11) クレーンの作業時間は8時間/日、8時間の内作業可能な時間(稼働率)は8割とする。

10.3.2 シミュレーション・モデルの作成

建築物の施工にクレーンを投入する場合、その施工方法は大きく分けると次の三とおりである。

- ① 1棟を1台のクレーンで施工 (1/1ジョブ問題)
- ② 複数棟を1台のクレーンで施工 (n/1ジョブ問題)
- ③ 1棟を複数のクレーンで施工 (1/mジョブ問題)

さらにこれらの組合せを考えると、標準的な施工法は図10.2に示す4とおりである。すなわち1棟を1台で施工、複数棟を1台で施工、1棟を複数台で同時に施工、1棟を複数台で交互に施工の4とおりである。

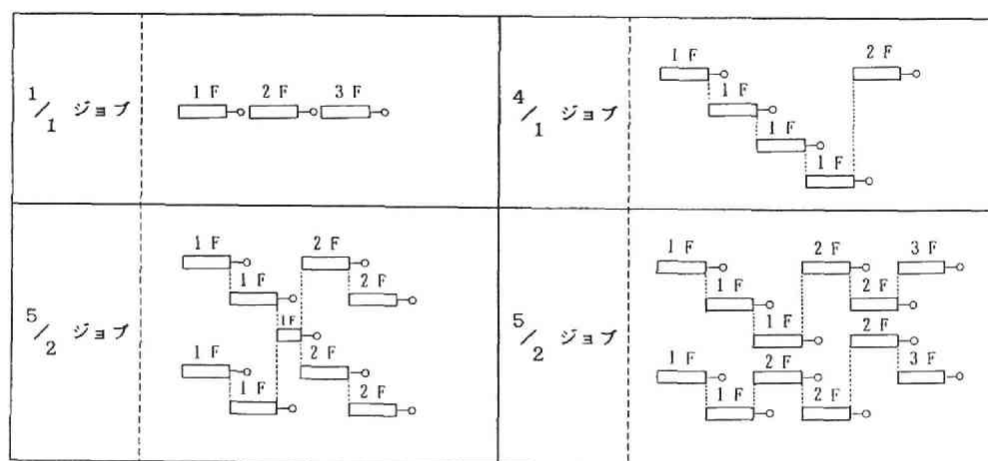


図10.2 標準的的施工法

いま10棟に3台のクレーンを投入した場合の施工法タイプの例を図10.3に示す。
 施工法タイプを追加作成するには現場経験者の知識、新たな技術情報を加味すればよい。
 次に前項のモデルの前提より、各施工法におけるシミュレーション・モデルを作成する。
 結果を図10.4にn/1ジョブ問題の例で示す。

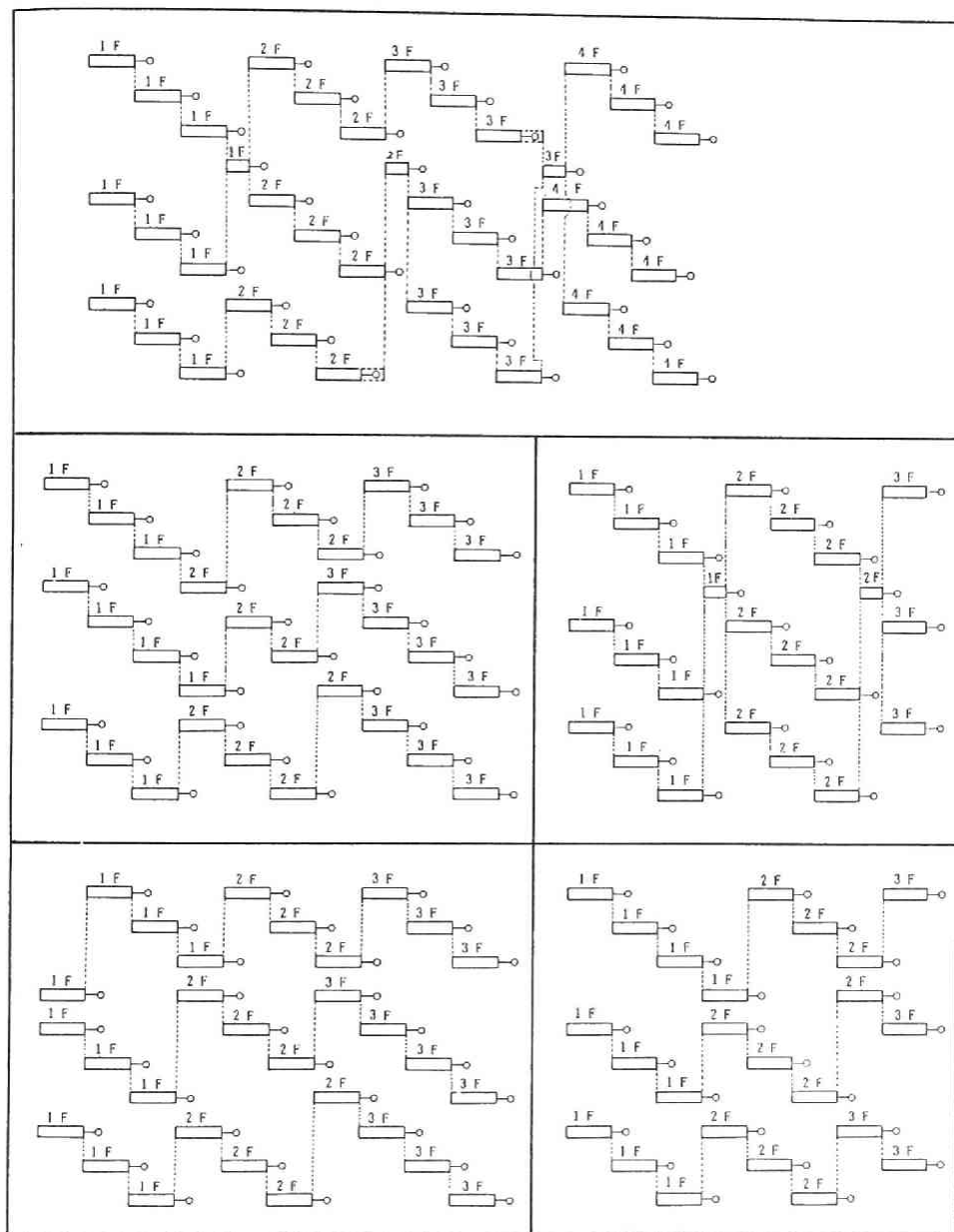


図10.3 10/3ジョブの施工法タイプの例

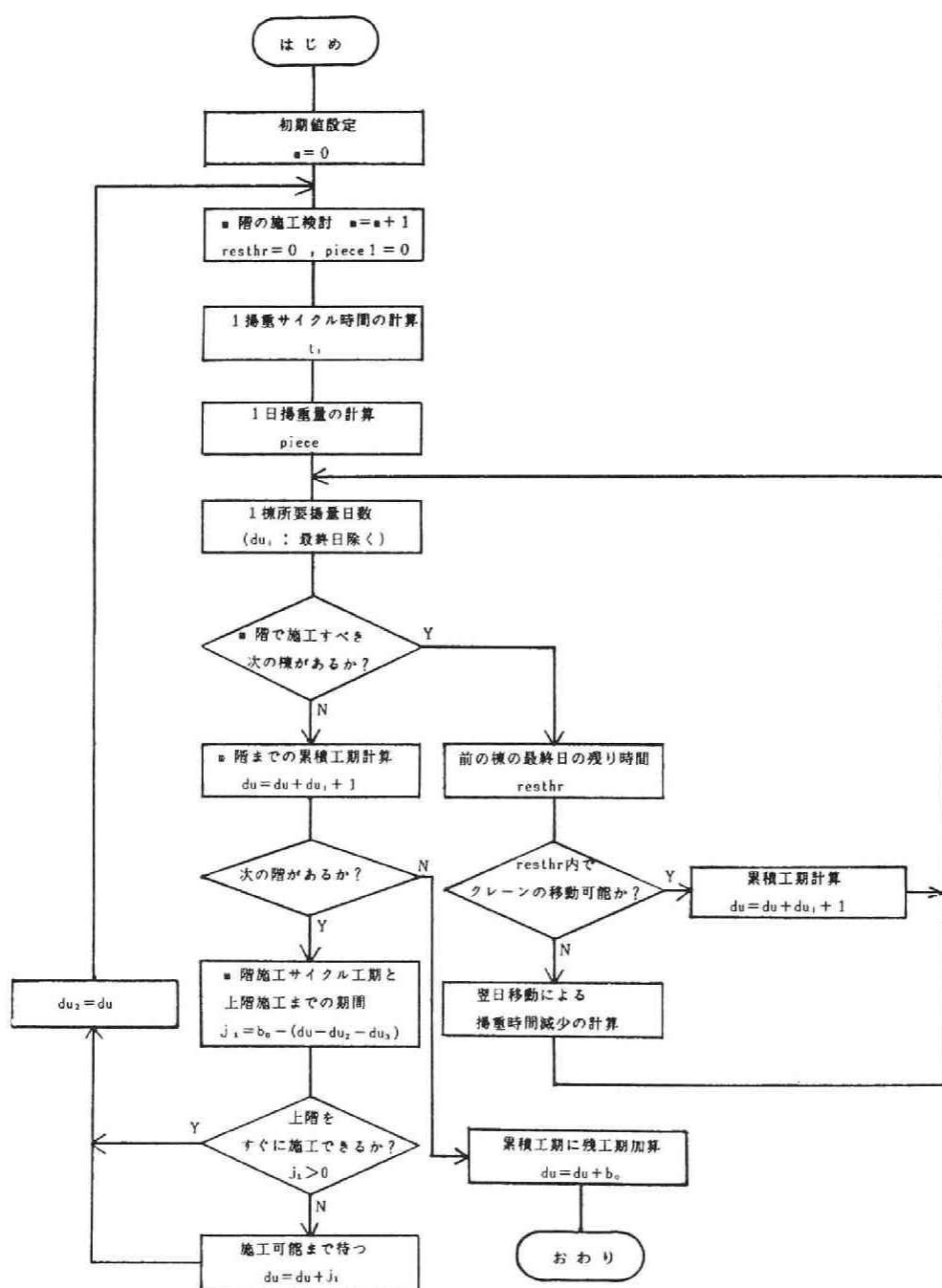


図10.4 n/1ジョブのシミュレーションモデル

10.3.3 シミュレーション・モデルの入出力情報

入出力情報とその例を図10.5～10.7に示す。

10.4 シミュレーションの結果

図10.5及び表10.1に示すデータにより、シミュレーションした結果を図10.8に示す。

1棟当りクレーンの機械経費を最小にするのは複数棟を1台のクレーンで施工する場合である。従って工期に余裕のある場合はこの方法が採用されるべきである。一方1棟を複数のクレーンで施工するのはきわめて不利な方法である。余程工期短縮が必要とされている場合を除き、採用す

| 設 計 条 件 | クレーン データ |
|---------------------------|----------------|
| ・建物階数 (15階) | ・利用可能なクレーンの種類 |
| ・各階揚重量 (500個) | ・各クレーンについて |
| ・階高 (3m) | 〈揚重巻上げ速度〉 |
| ・クレーン作業完了後当該階での作業所要日数(2日) | 〈作業位置移動所要時間〉 |
| | 〈揚重場所での停止所要時間〉 |
| 注 () 内はシミュレーション事例への適用数値 | 〈機械経費〉 |
| | 〈利用可能台数〉 |

図10.5 入力情報リスト

表10.1 利用可能クレーンの種類と諸元

| クレーン種類 | No.1 | No.2 | No.3 | No.4 | No.5 |
|--------------------|------|------|------|------|------|
| 項目 | | | | | |
| 巻き上げ速度 (m/min) | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 |
| 作業位置移動所要時間 (h) | 0.5 | 1.0 | 3.0 | 6.0 | 8.0 |
| 揚重場所での停止所要時間 (sec) | 600 | 500 | 450 | 400 | 300 |
| 機械経費 (万円/日) | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 利用可能台数 (台) | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 |

| 棟数 | 台数 | 施 工 法 タイプ コード | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|---------------|-----|------|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| no | Ho | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 293 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 164 | 253 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 121 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 99 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 531 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 2 | 0 | 273 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 3 | 0 | 186 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 4 | 0 | 143 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 5 | 0 | 117 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 1 | 0 | 0 | 796 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 2 | 0 | 0 | 402 | 409 | 419 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 279 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 214 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 175 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 1 | 1062 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 2 | 0 | 546 | 0 | 0 | 0 | 531 | 546 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 3 | 0 | 372 | 0 | 0 | 0 | 358 | 372 | 0 | 376 | 376 | 419 | 0 | 0 | 0 | 402 | 0 |
| 4 | 4 | 0 | 286 | 0 | 0 | 0 | 293 | 286 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 5 | 0 | 234 | 0 | 0 | 0 | 293 | 234 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 1 | 0 | 0 | 1327 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 2 | 0 | 0 | 667 | 682 | 671 | 667 | 682 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 3 | 0 | 0 | 0 | 465 | 0 | 444 | 465 | 0 | 0 | 0 | 0 | 455 | 531 | 531 | 0 | 470 |
| 5 | 4 | 0 | 0 | 337 | 357 | 0 | 337 | 357 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 292 | 0 | 293 | 292 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

図10.6 No.1クレーンによるn_o/m_oジョブの所要工期(日)

| 代替案 No. | 棟数 | クレーン種類 | クレーン台数 | 所要工期 | コスト/棟 | 採用数 | 施工法タイプ |
|---------|------|--------|--------|---------|--------|------|--------|
| 1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 293.00 | 582.00 | 0.00 | 3.00 |
| 2 | 1.00 | 1.00 | 2.00 | 164.00 | 252.00 | 0.00 | 4.00 |
| 3 | 1.00 | 1.00 | 3.00 | 121.00 | 722.00 | 0.00 | 4.00 |
| 4 | 1.00 | 1.00 | 4.00 | 99.00 | 792.00 | 0.00 | 4.00 |
| 5 | 1.00 | 1.00 | 5.00 | 82.00 | 800.00 | 0.00 | 4.00 |
| 6 | 2.00 | 1.00 | 1.00 | 531.00 | 531.00 | 0.00 | 1.00 |
| 7 | 2.00 | 1.00 | 2.00 | 273.00 | 546.00 | 0.00 | 2.00 |
| 8 | 2.00 | 1.00 | 3.00 | 186.00 | 558.00 | 0.00 | 2.00 |
| 9 | 2.00 | 1.00 | 4.00 | 143.00 | 572.00 | 0.00 | 2.00 |
| 10 | 2.00 | 1.00 | 5.00 | 117.00 | 585.00 | 0.00 | 2.00 |
| 11 | 3.00 | 1.00 | 1.00 | 792.00 | 530.66 | 0.00 | 3.00 |
| 12 | 3.00 | 1.00 | 2.00 | 402.00 | 536.00 | 0.00 | 3.00 |
| 13 | 3.00 | 1.00 | 3.00 | 279.00 | 558.00 | 0.00 | 4.00 |
| 14 | 3.00 | 1.00 | 4.00 | 214.00 | 570.66 | 0.00 | 4.00 |
| 15 | 3.00 | 1.00 | 5.00 | 175.00 | 583.33 | 0.00 | 4.00 |
| 16 | 4.00 | 1.00 | 1.00 | 1022.00 | 531.00 | 0.00 | 1.00 |
| 17 | 4.00 | 1.00 | 2.00 | 531.00 | 531.00 | 0.00 | 2.00 |
| 18 | 4.00 | 1.00 | 3.00 | 358.00 | 537.00 | 0.00 | 2.00 |
| 19 | 4.00 | 1.00 | 4.00 | 282.00 | 572.00 | 0.00 | 2.00 |
| 20 | 4.00 | 1.00 | 5.00 | 234.00 | 585.00 | 0.00 | 2.00 |
| 21 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1327.00 | 530.80 | 0.00 | 3.00 |
| 22 | 5.00 | 1.00 | 2.00 | 687.00 | 533.60 | 0.00 | 3.00 |
| 23 | 5.00 | 1.00 | 3.00 | 444.00 | 532.80 | 0.00 | 3.00 |
| 24 | 5.00 | 1.00 | 4.00 | 337.00 | 539.20 | 0.00 | 3.00 |
| 25 | 5.00 | 1.00 | 5.00 | 282.00 | 584.00 | 0.00 | 3.00 |

図10.7-1 No.1クレーンによる代替案リスト

| NO. | 棟数 | CRANE TYPE | # | DURATION | COST/棟 | 採用数 | CONST. TYPE |
|---------|------|------------|------|----------|--------|------|-------------|
| 1 | 3.00 | 1.00 | 1.00 | 792.00 | 530.66 | 0.00 | 3.00 |
| 2 | 5.00 | 1.00 | 1.00 | 1327.00 | 530.80 | 0.00 | 3.00 |
| 3 | 4.00 | 1.00 | 1.00 | 1022.00 | 531.00 | 0.00 | 1.00 |
| 4 | 4.00 | 1.00 | 2.00 | 531.00 | 531.00 | 0.00 | 2.00 |
| 5 | 2.00 | 1.00 | 1.00 | 531.00 | 531.00 | 0.00 | 1.00 |
| 6 | 5.00 | 1.00 | 3.00 | 444.00 | 532.80 | 0.00 | 3.00 |
| 7 | 5.00 | 1.00 | 2.00 | 687.00 | 533.60 | 0.00 | 3.00 |
| 8 | 3.00 | 1.00 | 2.00 | 402.00 | 536.00 | 0.00 | 3.00 |
| 9 | 4.00 | 1.00 | 3.00 | 358.00 | 537.00 | 0.00 | 3.00 |
| 10 | 5.00 | 1.00 | 4.00 | 337.00 | 539.20 | 0.00 | 3.00 |
| 11 (1) | 2.00 | 1.00 | 2.00 | 273.00 | 546.00 | 0.00 | 2.00 |
| 12 (2) | 3.00 | 1.00 | 3.00 | 279.00 | 558.00 | 0.00 | 4.00 |
| 13 (3) | 2.00 | 1.00 | 3.00 | 186.00 | 558.00 | 0.00 | 2.00 |
| 14 (4) | 3.00 | 1.00 | 4.00 | 214.00 | 570.66 | 0.00 | 4.00 |
| 15 (5) | 2.00 | 1.00 | 4.00 | 143.00 | 572.00 | 0.00 | 2.00 |
| 16 | 4.00 | 1.00 | 5.00 | 234.00 | 585.00 | 0.00 | 2.00 |
| 17 | 4.00 | 1.00 | 5.00 | 117.00 | 585.00 | 0.00 | 2.00 |
| 20 (10) | 2.00 | 1.00 | 5.00 | 117.00 | 585.00 | 0.00 | 2.00 |
| 21 (11) | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 293.00 | 586.00 | 0.00 | 3.00 |
| 22 | 2.00 | 2.00 | 1.00 | 402.00 | 603.00 | 0.00 | 1.00 |
| 23 | 3.00 | 2.00 | 1.00 | 603.00 | 603.00 | 0.00 | 3.00 |
| 24 | 4.00 | 2.00 | 1.00 | 804.00 | 603.00 | 0.00 | 1.00 |
| 25 | 5.00 | 2.00 | 1.00 | 1022.00 | 603.00 | 0.00 | 1.00 |
| 26 | 5.00 | 2.00 | 2.00 | 687.00 | 610.00 | 0.00 | 2.00 |
| 30 (12) | 4.00 | 2.00 | 3.00 | 272.00 | 612.00 | 0.00 | 2.00 |
| 31 (13) | 5.00 | 2.00 | 4.00 | 257.00 | 616.80 | 0.00 | 2.00 |
| 32 (14) | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 209.00 | 627.00 | 0.00 | 2.00 |
| 33 (15) | 3.00 | 2.00 | 3.00 | 214.00 | 642.00 | 0.00 | 4.00 |
| 34 (16) | 2.00 | 2.00 | 3.00 | 143.00 | 643.50 | 0.00 | 2.00 |
| 35 (17) | 1.00 | 1.00 | 2.00 | 164.00 | 656.00 | 0.00 | 4.00 |
| 36 (18) | 2.00 | 2.00 | 5.00 | 90.00 | 675.00 | 0.00 | 2.00 |
| 37 (19) | 4.00 | 2.00 | 5.00 | 180.00 | 675.00 | 0.00 | 7.00 |
| 38 (20) | 2.00 | 2.00 | 5.00 | 135.00 | 675.00 | 0.00 | 4.00 |
| 39 (21) | 5.00 | 2.00 | 5.00 | 225.00 | 675.00 | 0.00 | 7.00 |
| 40 (22) | 3.00 | 2.00 | 4.00 | 167.00 | 676.00 | 0.00 | 4.00 |
| 41 (23) | 2.00 | 2.00 | 4.00 | 113.00 | 678.00 | 0.00 | 2.00 |
| 42 (24) | 4.00 | 2.00 | 4.00 | 234.00 | 678.00 | 0.00 | 7.00 |
| 43 (25) | 1.00 | 2.00 | 1.00 | 229.00 | 687.00 | 0.00 | 3.00 |
| 44 | 3.00 | 3.00 | 1.00 | 522.00 | 705.33 | 0.00 | 3.00 |

() 内は工期300日以内の代替案の順位 (なお図11.11の代替案No.はこの数値である)

図10.7-2 各種クレーンによる代替案ランキング(1棟当り機械経費)

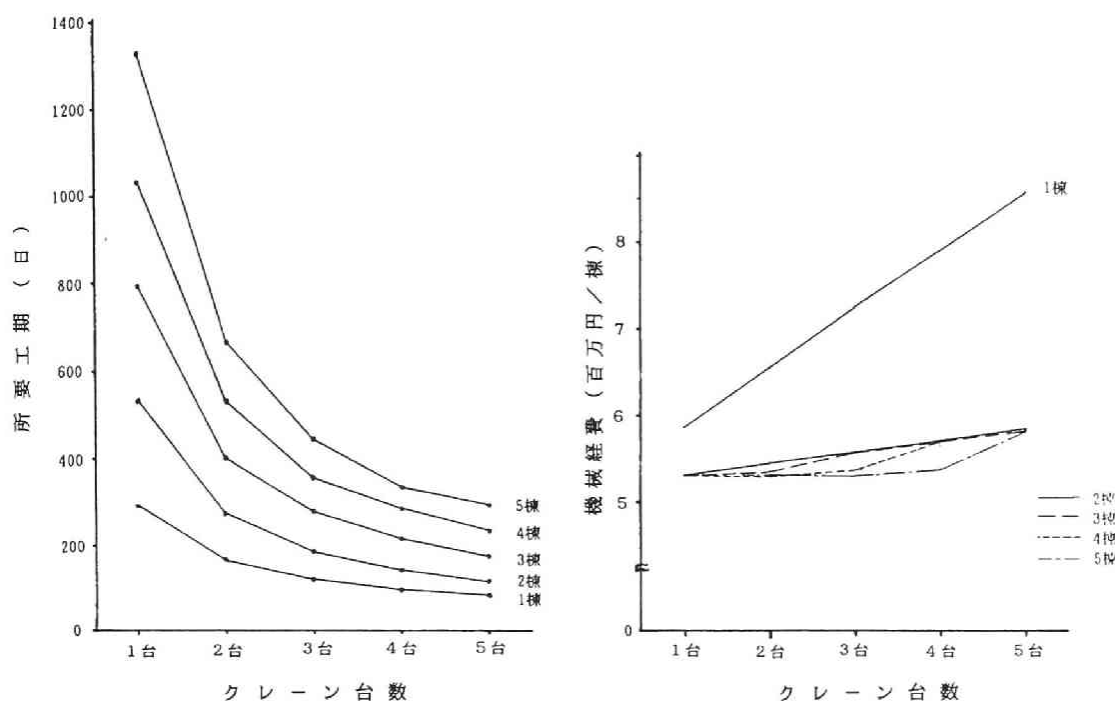


図10.8 シミュレーションの結果

べき方法ではない。採用する場合でも、サブグループのとり方によって、同じ短縮効果をより低い機械経費で達成することができる。たとえばここで例示したモデルの場合、1棟を2台のクレーンで施工すると、工期164日であるが、2棟を4台で施工した場合は工期143日で、工期が短縮される。1棟当りの機械経費は前者の場合で656万円、後方で572万円となっている。ここに機械経費と所要工期の両者を考慮した配置計画モデル開発の重要性がある。次項でこの最適組合せを求める方法論について記す。

10.5 配置計画モデル

10.5.1 問題設定

いくつかの代替的な施工法及びクレーンの中から最も経済的な施工法を選択する問題は、0-1整数計画問題として(1)式のごとく定式化できる。

(1) 変数の定義

i : 代替案番号, $i = 1, 2 \dots n$, n : 代替案の数

j : クレーンの種類, $j = 1, 2 \dots m$, m : クレーン種類の数

N_i : i 代替案の施工棟数

C_i : i 代替案の 1 棟当りクレーンの機械経費

m_{ij} : i 案に含まれる j 種クレーンの台数

M_j : j 種クレーンの投入可能台数

N_0 : 施工すべき建物棟数

T_i : i 代替案の所要工期

L_0 : 契約工期

t_i : i 代替案の着工時刻

t : 工事期間タイムスケール (日) , $t = 1, 2, \dots, L_0$

$x_i^0 = 1$: i 代替案を採用しているとき

そうでないとき 0

$x_{it}^1 = 1$: i 代替案が期間 t で施工中のとき

そうでないとき 0

(2) 目的関数

目的関数は契約工期内に施工可能な施工法のうち最小のクレーンの機械経費を与えるものであるから

$$\sum_{i=1}^n C_i N_i x_i^0 \rightarrow \text{最小化} \quad \dots\dots\dots (1)$$

として表される。

(3) 制約条件

a. 施工すべき施工棟数を満足しなければならない。

$$\sum_{i=1}^n N_i x_i^0 = N_0$$

b. 契約工期内に施工が完了しなければならない。

$$0 \leq t_i \leq L_0 - T_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

c. 施工中のジョブは中断させてはならない。

$$\sum_{t=t_i}^{t_i+T_i-1} x_{it}^1 = T_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

但し $x_i^0 = 0$ のとき $x_{it}^1 = 0$

d. 各期間でクレーンの資源制約を満足しなければならない。

$$\sum_{i=1}^n m_{ij} x_{it} \leq M_j \quad (j=1, 2, \dots, m)$$

$$(t=1, 2, \dots, L_0-1)$$

但し $x_{i0}=0$ のとき $x_{it}=0$

(1) 式は0-1整数計画問題のうち、多次元ナップザック問題であり、分枝限定法によって解くことができる。(※5)

10.5.2 解法

分枝限定法に沿った最適解を求めるアルゴリズムを図10.9, 図10.10に示す。この解法の利点は解の限定可能性を利用して検討すべき解の数を減少させ得るところにある。

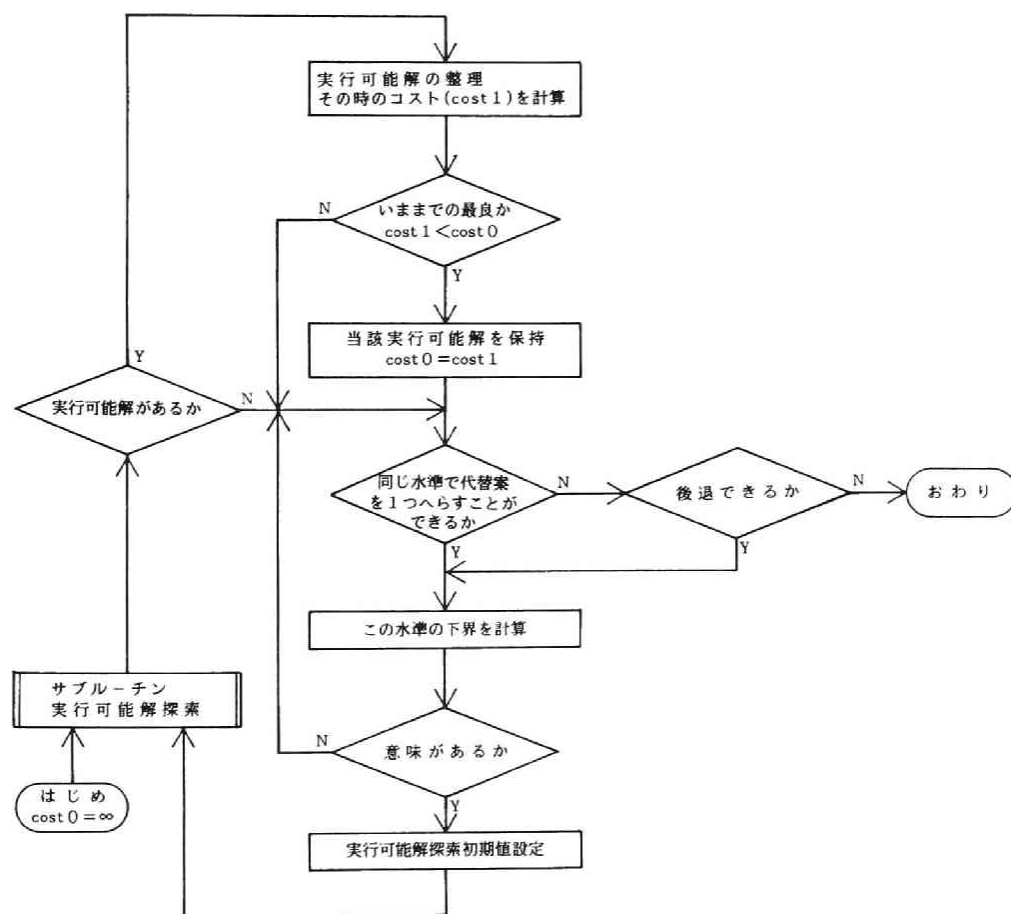


図10.9 分枝限定法によるアルゴリズムの概要

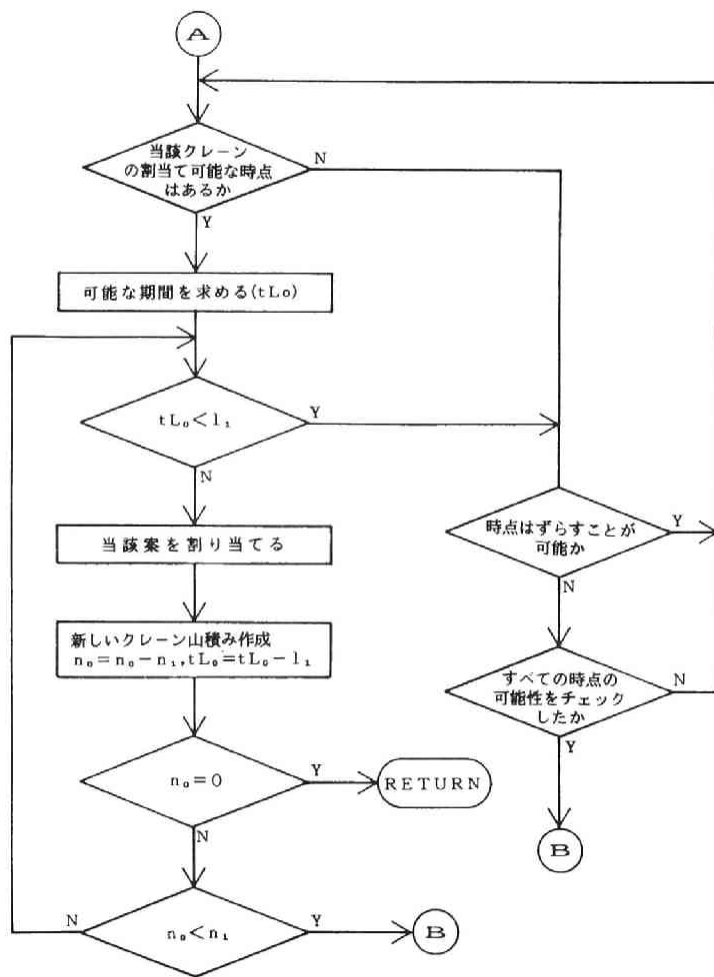
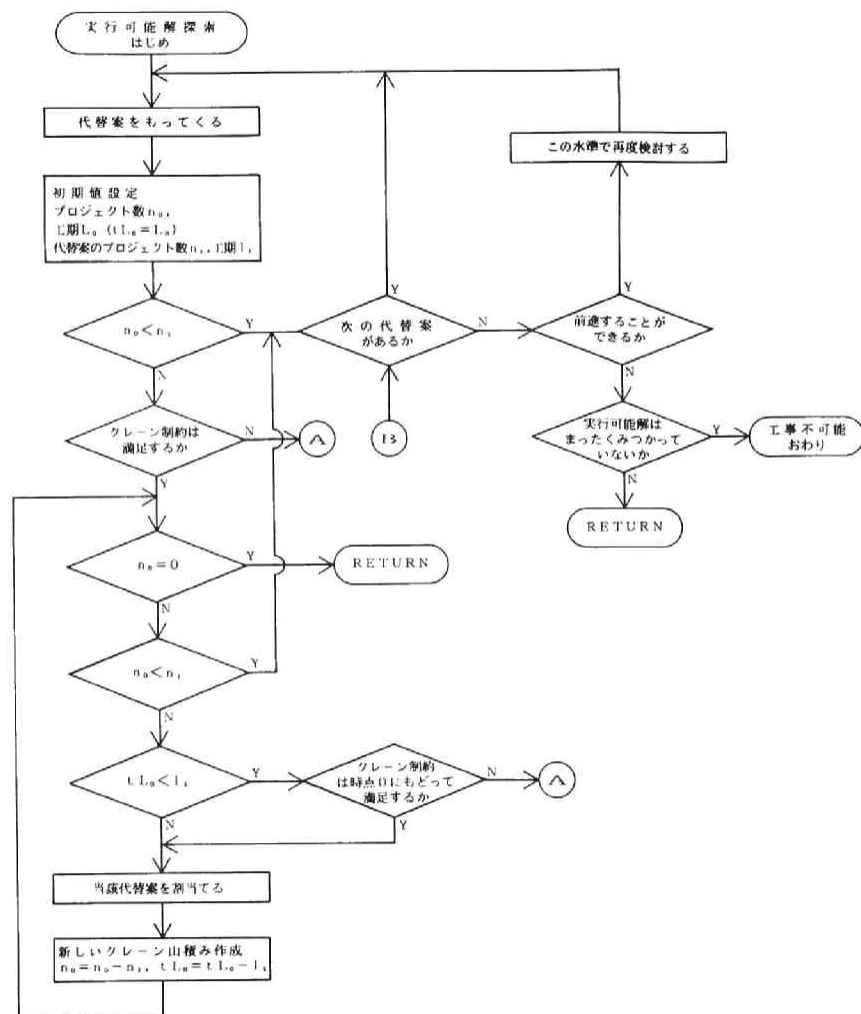


図10.10 実行可能解探索のフローチャート



「限定可能性：任意の解の集合に含まれる最良の解の値の推定値は以下のようにして得られる。

- a) その集合のなかの最良の解の実際の値は、その推定値よりも劣っているか、等しい。
つまり、推定値は実際の値の上界となっている。
- b) 推定値は容易に計算できる。
- c) 推定値は実際の値に適度に近い値である。」（＊6）

要するに最小値を求める場合の任意の解の集合の下界（最大値の場合は上界）をいかに容易に、実際の解に近いものとするかが問題となる。

10.6 配置計画モデルの適用と結果の考察

10.3のシミュレーション・モデルによって得られた代替案リスト（図10.7-2）を表10.2に示す工事規模、クレーン制約、契約工期のプロジェクトに適用した。結果を表10.2右欄及び図10.11に示す。

表10.2 適用プロジェクトの制約条件と計算結果

| | 建物棟数 | 契約工期 | 利用可能クレーン台数 | | | | | 計 算 結 果 | |
|-------|------|------|------------|------|------|------|------|---------|----------|
| | | | No.1 | No.2 | No.3 | No.4 | No.5 | 所要工期 | 機械経費(万円) |
| 事例 1 | 10 | 無 | 無 | 無 | 無 | 無 | 無 | 1062 | 5308 |
| 事例 2 | 10 | 250 | 無 | 無 | 無 | 無 | 無 | 186 | 5580 |
| 事例 3 | 10 | 150 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 145 | 7213 |
| 事例 4 | 10 | 200 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 186 | 6412 |
| 事例 5 | 10 | 250 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 243 | 6198 |
| 事例 6 | 10 | 300 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 273 | 5724 |
| 事例 7 | 10 | 350 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 337 | 5618 |
| 事例 8 | 10 | 400 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 358 | 5550 |
| 事例 9 | 10 | 450 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 444 | 5328 |
| 事例 10 | 10 | 無 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 1062 | 5308 |

いま契約工期300日の例について説明する。

この工期の場合代替案リスト（図10.7-2の（ ）内の代替案No.を使用する）の*i* = 1, 12の案をそれぞれ3, 1案ずつ採用するとクレーンの機械経費の合計は5724万円となり、それが最小コストとなっている。その時の施工計画は、2/2ジョブ、施工法タイプ2のブロックを3、及び4/3ジョブ、施工法タイプ6のブロックを1つ同時に着工する方法である。（図10.12）

通常の決定方法では工期300日が与えられると、1/1ジョブで施工が可能ならばそれをクレーン制約限度まで使用し、限度を超えると他の機種で1/1ジョブのクレーンを用

| | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------------------------------|---------|--------|--------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| ***** CONTRACT COMPLETION DATE = 300 DAYS ***** | | | | | | | | | | |
| CRANE CONSTRAINTS (NO.1 8, NO.2 5, NO.3 3, NO.4 3, NO.5 3) | | | | | | | | | | |
| 実行可能解の例 | 採用代替案 | | 代替案 No. | 棟数 | クレーン種類 | クレーン台数 | 所要工期 | コスト/棟 | 採用数 | 施工法タイプ |
| | | | 1 | 2.00 | 1.00 | 2.00 | 273.00 | 545.00 | 1.00 | 2.00 |
| | | | 12 | 4.00 | 2.00 | 3.00 | 272.00 | 512.00 | 1.00 | 2.00 |
| | | | 14 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 207.00 | 527.00 | 1.00 | 2.00 |
| | | | 17 | 1.00 | 1.00 | 2.00 | 154.00 | 555.00 | 2.00 | 4.00 |
| | クレーン割当 | No.1 | 時刻 | 0.00 | 154.00 | 273.00 | 300.00 | | | |
| | | クレーン | 台数 | 2.00 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | | | |
| | | No.2 | 時刻 | 0.00 | 207.00 | 272.00 | 300.00 | | | |
| | | クレーン | 台数 | 5.00 | 3.00 | 0.00 | 0.00 | | | |
| | | No.3 | 時刻 | 0.00 | 300.00 | | | | | |
| クレーン | | 台数 | 0.00 | 0.00 | | | | | | |
| No.4 | | 時刻 | 0.00 | 300.00 | | | | | | |
| クレーン | | 台数 | 0.00 | 0.00 | | | | | | |
| No.5 | | 時刻 | 0.00 | 300.00 | | | | | | |
| クレーン | | 台数 | 0.00 | 0.00 | | | | | | |
| 機械経費 | | COST0 = 5724.00 マシン 今までの最適解 | | | | COST1 = 5105.00 マシン 当該実行可能解 | | | | |
| 採用代替案 | | 代替案 No. | 棟数 | クレーン種類 | クレーン台数 | 所要工期 | コスト/棟 | 採用数 | 施工法タイプ | |
| | | 1 | 2.00 | 1.00 | 2.00 | 273.00 | 545.00 | 3.00 | 2.00 | |
| | | 12 | 4.00 | 2.00 | 3.00 | 272.00 | 512.00 | 1.00 | 2.00 | |
| 機械経費 | | LOWEST COST = 5724.00 マシン | | | | | | | | |
| 最適解 | クレーン割当 | CRANE NO. 1 | | time | 0 | 273 | 300 | | | |
| | | number of cranes | | | 2 | 0 | 0 | | | |
| | | CRANE NO. 2 | | time | 0 | 272 | 300 | | | |
| | | number of cranes | | | 3 | 0 | 0 | | | |
| | | CRANE NO. 3 | | time | 0 | 300 | | | | |
| | | number of cranes | | | 0 | 0 | | | | |
| | | CRANE NO. 4 | | time | 0 | 300 | | | | |
| | | number of cranes | | | 0 | 0 | | | | |
| | | CRANE NO. 5 | | time | 0 | 300 | | | | |
| | | number of cranes | | | 0 | 0 | | | | |

注) 代替案No.は図11.7-2の()の数値である

図10.11 配置計画モデルの計算結果

| ジョブ名 | 施工法タイプ | 棟番号 | クレーン機種,台数 | 概略工程計画 |
|------|--------|-------------------|-------------------------------|--------|
| 2/2 | 2 | 1 2 | No. 1 2 | |
| 2/2 | 2 | 3 4 | No. 1 2 | |
| 2/2 | 2 | 5 6 | No. 1 2 | |
| 4/3 | 6 | 7 8 9 10 | No. 2 1 No. 2 1 No. 2 1 | |

図10.12 最適配置計画

意することが多い。この場合機械経費はNo.1クレーンが586万円×6棟、No.2クレーンが687万円×4棟で合計6264万円となる。

いずれにせよこういった概略の工事計画を作成し、これにもとづいてより詳細な検討に入るべきであろう。

また、各種の工期に対して、この配置計画モデルを使って概略工事計画のクレーンの機械経費を計算しておく、他の関連要素たとえば現場経費等の支出が工期の変動によって変化する場合の最適工期を求めることができる。仮に、工期300日までは現場経費は変化せず、その後、次式で示す費用が加算されるとすると、

$$\text{付加費用 } f = \begin{cases} 2 \times (x - 300), & 300 \leq x \\ 0, & 0 \leq x \leq 300 \end{cases}$$

$x = \text{工期}$

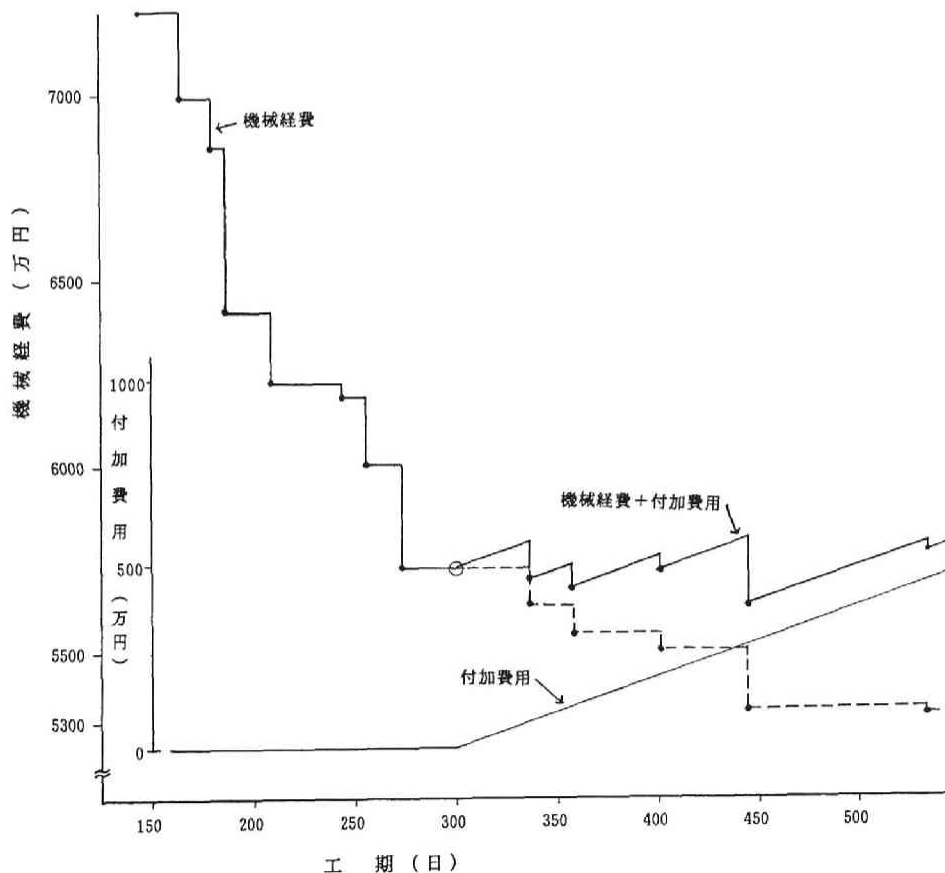


図10.13 工期の違いによる機械経費の変動

最適経済工期は444日である。(図10.13)

これらより次のことがいえる。

(1) 投入クレーンの機種、数量が同じ場合でも、その施工法、組合せによりクレーンの機械経費は大幅に変化する。

(2) 通常行われている施工法と本モデルでの配置計画とにはクレーンの機械経費の点で相当程度のひらきがある。

(3) クレーンの資源制約は工期への影響もさることながら機械経費へも大きく影響する。

(4) 機械経費の点からいえば、工期に余裕があれば、複数棟を1台のクレーンで施工した方が有利となる場合が多い。

(5) 作業所長等個人的経験により決定されていたクレーン配置計画問題に計量的手法の適用が達成できたが、経験、あるいは新しい技術情報等はシミュレーション・モデルの更新によって考慮できる。

(6) いずれにせよ、本モデルの有効性が確認できた。

10.7 まとめ

前章でも述べたように基本設計プロセスで担当者が経験に基づいて主観的に決定する方法では、合理的、客観的に最適計画案を求めることが困難で、担当者が変われば異なる計画案が作成される。また計画されず、工事費算出のためには係数処理される可能性が強い。本モデルはその決定過程に論理的手順を導入することを意図したものである。

本章の議論、考察で得た知見は次のとおりである。

(1) 大規模団地建設プロジェクトに代表される多数棟建設現場での揚重用クレーンの配置計画が一定の手続きを経て、論理的に決定できることが明らかとなった。

(2) その場合最適配置をクレーン損料を最小化する配置とすれば、その点で経済性を考慮した最適配置が決定できる。

(3) さらに所定の工期を短縮もしくは延長することによる経済性の検討が可能である。

(4) 配置決定モデルは二つの部分から構成されている。一つは n/m ジョブ問題を解くためのシミュレーション・モデル。他の一つは n/m ジョブ問題の組合せによって揚重用クレーンの配置をいくつかの条件の下に決定するモデル。従って n/m ジョブ問題とそのシミュレーション・モデルに勘、経験、その他各種の情報を付加することによってより精緻なモデルに拡張できる。

(5) 本章でのモデルは表10.1でみたように基本設計プロセスで十分に入手可能な情報に基づいており、第7章でいう施工計画情報をつくり出す計画システムとして機能することができる。

(6) その結果、基本設計プロセスでの仮設工事費（ここでは揚重用クレーン経費）が単なる係数処理ではなく、概略にせよ実行可能な施工計画に裏付けられた形で概算することが可能である。さらに契約工期の設定も経済性を考慮して行うことができる。

(7) ここでもモデルは問題を単純化してとらえており、今後一層現実的、妥当性の高いモデルに拡張せねばならない。

参 考 文 献

- * 1) 古阪秀三：揚重用クレーンの配置計画に関する研究その1，日本建築学会論文報告集，No.344 pp146~153,1984.10
- * 2) S.FURUSAKA,C.GRAY:A model for the selection of the optimum crane for construction site,Construction Management and Economics,vol.2 no.2,pp157~176, Autumn 1984
- * 3) 古阪秀三：揚重用クレーンの配置計画に関する研究その2，日本建築学会計画系論文報告集，No.358 pp84~89,1985.12
- * 4) RICHARD.W.CONWAY他著、関根智明監訳：スケジューリングの理論、日刊工業新聞社，1971.10
- * 5) 茨木俊秀：組合せ最適化，産業図書，1983.7
- * 6) ARNETHESEN著，野中保雄他訳：ORのためのプログラミング技法，日刊工業新聞社，1980.5
- * 7) OR事典編集委員会編：OR事典，日科技連，1975.8

第11章 基本設計プロセスでの維持保全計画の最適化

11.1 はじめに

維持保全の計画及び実施の実態は第5章でみた。簡単にふりかえると次のとおり。

既存の建築物の維持保全、修繕研究は過去の修繕費支出に着目し、将来を予測しようとした。計画の実態では計画修繕の基準が経験と達観によることが多く、またそうでない場合も耐久性の基準であって最適性の基準ではない。つまりできる限り長く使うことを良とする基準であるとし、その根拠の乏しさ、経済性の問題を指摘した。修繕実施の実態では計画修繕は修繕実態上ほぼ崩壊し、事後修繕中心になっており、修繕周期は予算計上の根拠であり、修繕の一つの目安程度の意味しかないことを明らかにした。

さらに修繕費支出の水準には供給主体間の格差がある。修繕には修繕費支出が大きいものの、発生頻度が高いものという意味での重点が存在する。これらの支出、頻度に応じた重点的、計画的な対応が必要である。いま修繕するのが有利なのか、先送りした方がかえって有利なのか、どの程度修繕すれば経済的か。これら経済的な修繕周期、修繕率はまったく考慮されておらず、その方法論に欠ける。計画修繕の方法は単に耐久性のみならず、経営主体の管理水準、居住者の要求水準によって異なる。この点を整合的に検討すべき方法論を持ち合わせていない。さらに使用期間が異なったり、代替的な修繕の方法がいくつかある場合にどうすれば最適化できるかを決定する方法も存在しない。

いずれにせよ第5章の議論は建築物が既に存在し、いかに維持保全するかに力点があった。またその限りでの経済性の議論であった。しかし集合住宅竣工後、あるいは居住開始後に修繕計画を初めて作成して得ることのできる利益は基本設計プロセスから信頼性、保全性設計が実施されることによって得ることのできる利益に遠く及ばない。

合理的な維持保全のためには基本設計プロセスにおいて設計、仕様決定時に概略にせよ維持保全計画、端的には修繕計画の最適化が論理的に達成できるシステム、計量化手法の確立が必要である。

本章でその理論的考察を行うことにする。

ところで建築保全を考えるうえでの問題の広がりとは図11.1に示すように多岐にわたる。現在のところどの問題をとっても十分に論理的な方法を持ち合わせていない。部分的に若干の新しい考え方、提案がされつつあるにとどまる。従って次節ではそれら最近の動向について論述し、11.3節以降で本論文でいう維持保全の最適化について論述する。

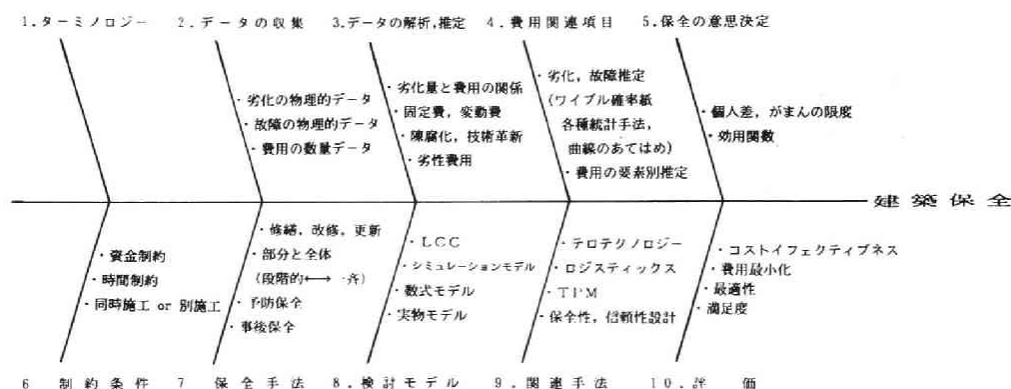


図 11.1 建築保全の関連問題

まず 11.3 節では維持保全問題を記述する。維持保全での用語の定義を検討し、それをふまえて劣化関数と修繕区分の考え方を明確にする。11.4 節では維持保全のうち修繕に限定してその過程の数値モデルを構築する。モデルは修繕の方法から計画修繕、非修繕取替、事後修繕の三つを考える。次にこれらのモデルを使っていくつかの試算を実施した。さらに当該モデルの改良を実際の修繕意思決定の状況を加味して行い、その感度分析を行っている。11.5 節で改良型モデルを含め、五つの修繕方法のモデルのシミュレーションを実施し、その結果の考察をしている。11.6 節は具体的な建築部分への適用例を扱っている。適用例として鉄部塗装をとりあげ、その最適修繕方法とその時の費用を算出している。さらに当該モデルが適用される基本設計プロセスにおいては建物の使用期間、物理的な耐用年数が不確実なことから、それらの変化が最適修繕方法にどのような影響を与えるか考察している。11.7 節は本章のまとめである。

11.2 維持保全計画のための計量化手法のモデル及び考え方

本節では維持保全計画のための計量化手法のモデル及び考え方を次の四つについて論述する。

① N T T の提案する建物のライフサイクル設計の一提案、いわゆる 2nd方式

② 初期建設費と耐用年数の関係、つまり耐用年数を延伸するために初期建設費がどの程度増加しても経済的には同等か。

③ 企画・設計段階で金額比ながら修繕率、修繕周期、取替周期が与えられた場合の概略ライフサイクルコスト算出モデル

④各種部分別ライフサイクルコスト算出モデルの経済性比較法の差異

11.2.1 建物のライフサイクル設計における 2^n 方式

小原誠によれば 2^n 方式を次のように説明する。（＊7）

（1） 2^n 方式の考え方

「従来建物の保全では各部位・材料の減耗からそれぞれの修繕周期を定める手法がとられている。いわば静的な手法の保全といえることができる。しかしながら修繕・改修を硬直的に部位ごとの修繕周期で実施すれば、それらの時期はバラバラのものになってしまう。

……そこで建物各部位の材料仕様、ディテールをうまく調整し、修繕や改修の時期を整合させることが考えられる。……

建物の各部位の耐用年数を 2^n

（ n は正の整数）数列にあてはまるように、材質・仕様を設計し、1, 2, 4, 8, 16, 32, 64（補助的に48も加えたい）の年数を支持物＞非支持物の関係の序列で定めるのである。」

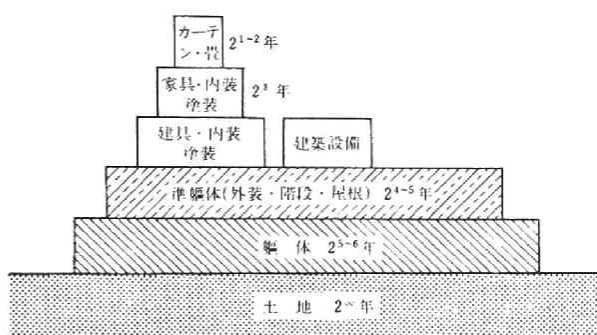


図11.2

これは図11.2のように表現 2^n 方式による建物各部位のライフサイクル案（＊7）
できる。

この考え方は建物の各部位の耐用年数が確定的で且つ耐用年数の長短を技術的に操作可能とした場合に成り立つ。しかし現実には各部位の耐用年数は確率的であり、その長短は必ずしも技術的に操作可能とはなっていない。耐用年数が確率的な場合に上記の考え方をとると取替周期及びその経済性がどうなるかを次のモデルでシミュレーションを実施した。

（2）シミュレーションモデルによる検討

建物の部材を図11.3に示すようなA, B, Cの三つに階層的に分ける。耐用月数をそれぞれ24, 48, 96ヶ月とする。その耐用月数は前後12ヶ月の中で確率的に変化する。確率分布は正規分布。A, B, Cの初期建設費（簡単のため取替費も同じとする）は10, 30, 100ユニットとする。（これを 2^n 方式と呼ぶ）

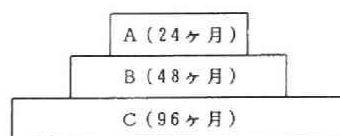


図11.3
シミュレーションモデル

コスト計算は単純集計と利子率を考慮し現在価値に換算

して集計したものの二つを考える。検討期間は

16年（192ヶ月）、シミュレーション回数は1000 表11.1 モデルの諸量

回としておく。（表11.1）

たとえばある回数のシミュレーションでは検討期間16年の間にA, B, Cの部材をそれぞれ7, 3, 1回取替えなければならない。その取替月は

A : 25, 50, 75, 98, 122, 149, 174

B : 50, 98, 149

C : 98

| 部 材 | 耐用月数 | 耐用月数の分布の範囲 | 初期建設費 unit |
|-----|------|------------|---------------|
| A | 24 | 12~36 | 10 |
| B | 48 | 36~60 | 30 |
| C | 96 | 84~108 | 100 |

であり、その時のコストCsは単純集計で

$$Cs = 10 \times 7 + 30 \times 3 + 100 \times 1 = 260$$

現在価値換算で月間利子率0.8%（年利10%）とすると

$$\begin{aligned}
 Cp &= 10 \times \left(\frac{1}{1.008^{26}} + \frac{1}{1.008^{51}} + \dots + \frac{1}{1.008^{175}} \right) \\
 &\quad + 30 \times \left(\frac{1}{1.008^{51}} + \frac{1}{1.008^{99}} + \frac{1}{1.008^{150}} \right) + 100 \times \frac{1}{1.008^{99}} \\
 &= 122.46
 \end{aligned}$$

となる。また別の回ではA, B, Cの部材をそれぞれ11, 6, 2回取替える。その取替月は、

A : 23, 40, 63, 85, 91, 93, 116, 140, 165, 189, 190

B : 40, 91, 93, 140, 189, 190

C : 93, 190

である。その時のコストは単純集計で490、現在価値換算で193.06となる。ちなみに耐用年数が確定的にA, B, Cそれぞれ24, 48, 96の値をとるとすると、Aは7回、Bは3回、Cは1回取替えることとなり、その時のコストは単純集計で260、現在価値換算で124.82となる。これらシミュレーションの結果を図11.4~11.6に示す。取替コストの期待値は単純集計で349.18、現在価値換算で151.47である。同図より耐用年数が確定的と考えた場合のコストは単純集計、現在価値換算いずれの計算でもほぼ最小となる。つまり確率的に変化することが通常であれば2nd方式でのライフサイクル設計は将来においてほぼ

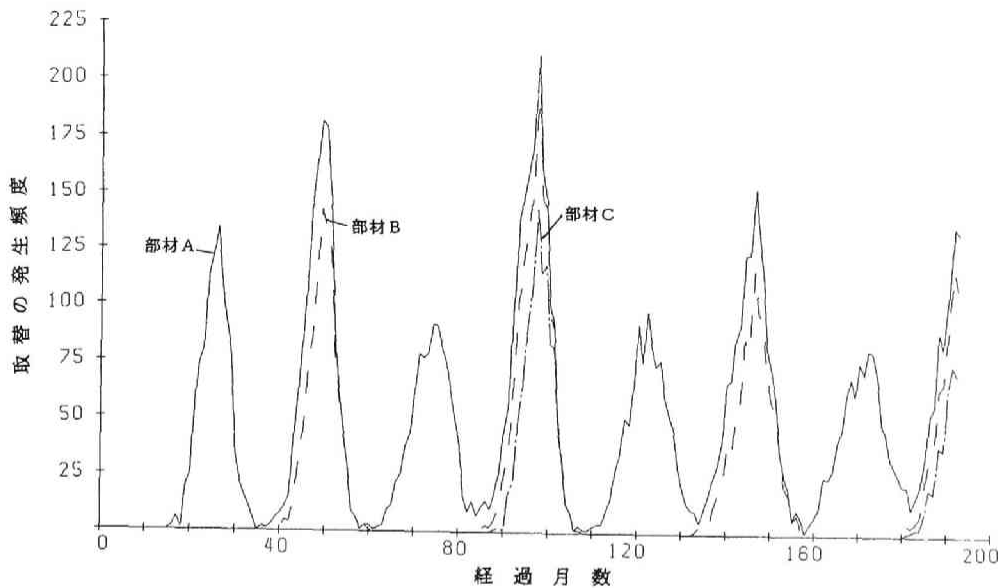


図11.4 2nd方式のシミュレーション

確実に計画値を上回ることが予想される。その量も最大で96%の増加で必ずしも小としない。

従って設計時に各部位の耐用月数に多少の余裕を付与することが考えられる。具体的には図11.3の例でいえばAの耐用月数をBのその1/2よりも多少長く設定する。同様にBの耐用月数をCのその1/2よりも多少長く設定する。Cは検討期間の1/2よりも多少長く設定する。こうすることによって耐用月数の確率分布の山をずらし、耐用年数のより長い部分Cの取替時の直前でのA、Bの取替の機会を少なくする。

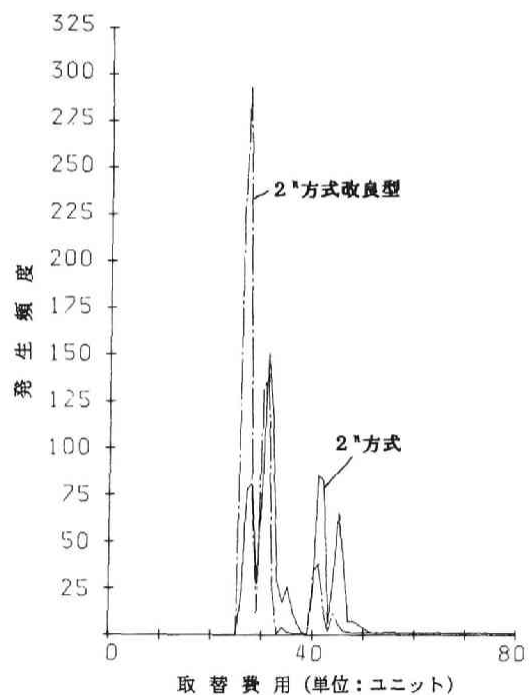


図11.5 取替費用の分布(単純集計)

いま仮に先のモデルの耐用月数をA、B、Cそれぞれ26、50、98とし、検討期間は192ヶ月のままで同様のシミュレーションを実施した。(2nd方式改良型と呼ぶ)結果を図11.5～11.7に示す。取替コストの期待値は単純集計で294.55、現在価値換算で133.98で

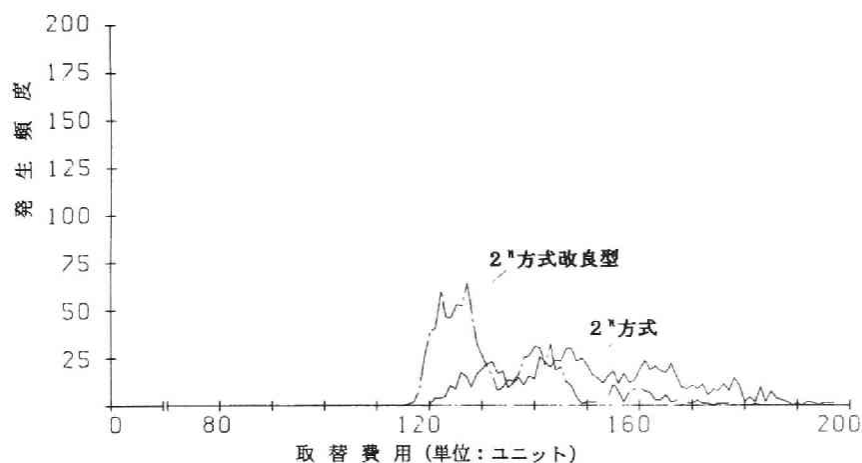


図11.6 取替費用の分布(現価)

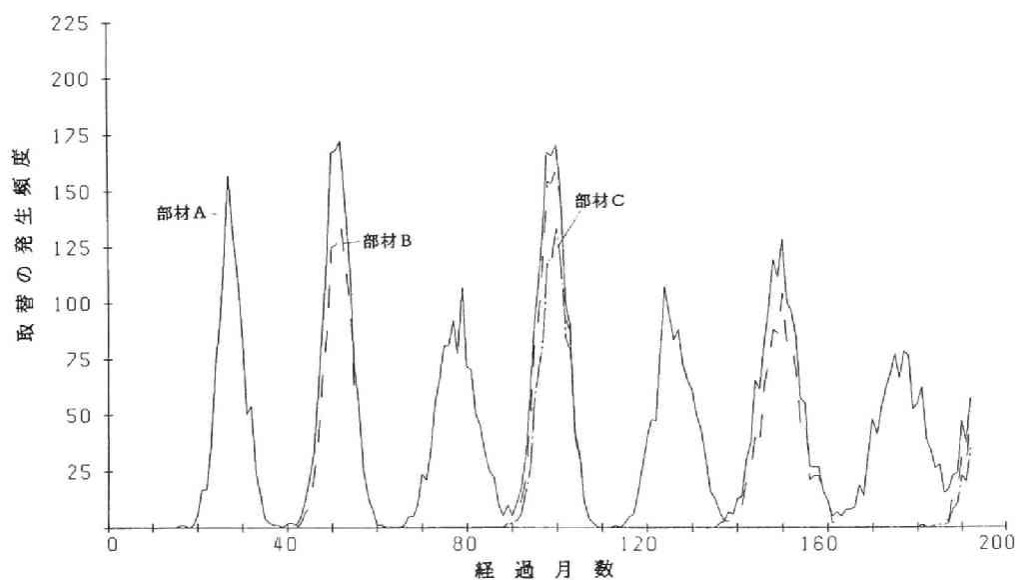


図11.7 2nd方式改良型のシミュレーション

ある。当然のことながら 2nd方式に比べ取替の発生はいずれの部材とも延長されていることが図11.7より確認できる。これを取替費用の分布でみると 2nd方式では分布の山がいくつかに分かれきわだった集中をみせない。またモードは単純集計で310、現在価値換算で146,147で分布の中央値(前者で335、後方で159)に近い。2nd方式改良型は単純集計でモード270、現在価値換算で117、中央値は前者で360、後方で149と分布の山が図の左方

向に片寄っている。つまり改良型の場合取替費用が相対的に小さいところに集中して分布していることがわかる。

耐用月数をそれぞれ特定の値である2ヶ月延長することが可能な設計・仕様、製作の技術は現在のところ一般には存在しない。しかし仮に存在したとすれば、耐用月数を延長するために付加コストが必要となる。過度に付加コストが必要な場合経済性の点で耐用月数を延長することの意味はなく、その限度が問題となる。この種の問題は寿命の違う投資案の比較問題のうち類似反復型（＊8）と考えることができる。

いま耐用月数 T_1 の部材 M_1 の初期建設費（簡単のため取替費も同じとする）を C_1 、耐用月数 T_2 の部材 M_2 のそれを C_2 とし、取替回数 n 、月間利子率を i とすると、 M_1 の全体費用の現在価値（以下現価という） P_1 は

$$\begin{aligned}
 P_1 &= C_1 \times \left\{ 1 + \frac{1}{(1+i)^{T_1}} + \frac{1}{(1+i)^{2T_1}} + \cdots + \frac{1}{(1+i)^{nT_1}} \right\} \\
 &= C_1 \times \frac{1 - (1+i)^{-(n+1)T_1}}{1 - (1+i)^{-T_1}} \quad \dots\dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

同様に M_2 の全体費用の現価 P_2 は

$$\begin{aligned}
 P_2 &= C_2 \times \left\{ 1 + \frac{1}{(1+i)^{T_2}} + \frac{1}{(1+i)^{2T_2}} + \cdots + \frac{1}{(1+i)^{nT_2}} \right\} \\
 &= C_2 \times \frac{1 - (1+i)^{-(n+1)T_2}}{1 - (1+i)^{-T_2}} \quad \dots\dots\dots (2)
 \end{aligned}$$

類似反復型であるので n を無限大にしてやれば、(1)、(2)式はそれぞれ次のようになる。

$$P_1 = \frac{C_1}{1 - (1+i)^{-T_1}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$P_2 = \frac{C_2}{1 - (1+i)^{-T_2}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで全体費用 P_1 、 P_2 が等しくなるときの C_1 、 C_2 の比 K （増加率）が耐用月数を延

長することの是非の判断基準となる。従って $P_1 = P_2$ とおくと、

$$\frac{C_1}{1 - (1+i)^{-T_1}} = \frac{C_2}{1 - (1+i)^{-T_2}}$$

$$\therefore K = \frac{C_2}{C_1} = \frac{1 - (1+i)^{-T_2}}{1 - (1+i)^{-T_1}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

従って部材Aの耐用月数を24ヶ月から26ヶ月に延長すると増加率 K_1 は(5)式に代入して、

$$K_1 = \frac{1 - (1+i)^{-26}}{1 - (1+i)^{-24}} = 1.076 \quad \dots\dots\dots (6)$$

同様に部材B, Cの増加率 K_2, K_3 は

$$K_2 = \frac{1 - (1+i)^{-50}}{1 - (1+i)^{-48}} = 1.034 \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$K_3 = \frac{1 - (1+i)^{-96}}{1 - (1+i)^{-96}} = 1.014 \quad \dots\dots\dots (8)$$

と求められる。つまり当該部材を T_1 から T_2 に延長した場合、初期建設費は K 倍まで増加してもいいことを示している。(取替に至るまでに行う修繕、有限の計画期間を考慮した検討は次項で行う。)

上記のモデルに $K_1 \sim K_3$ を加味して初期建築費と取替費の和 TC の期待値計算すると

$$TC = K_3 \times 100 + K_2 \times 30 \times K_1 \times 10 + (\text{シミュレーションによる取替費の累計})$$

$$= 143.20 + 138.93 = 282.13$$

一方部材A, B, Cの耐用月数を24, 48, 96としてシミュレーションした結果は

$$TC = 100 + 30 + 10 + (\text{シミュレーションによる取替費の累計})$$

$$= 140 + 151.47 = 291.47$$

である。従って増加率 K が(6)～(8)式の値をとる場合は部材の耐用月数を延長させた方が経済的に有利な方法であるといえる。

11.2.2 初期建設費と耐用年数の関係

前項で述べた初期建設費と耐用年数(前項では耐用月数)の関係は簡単のために取替に至るまでの間の修繕を無視しており、また検討期間も無限計画問題としている。本項ではより現実的な検討を加える

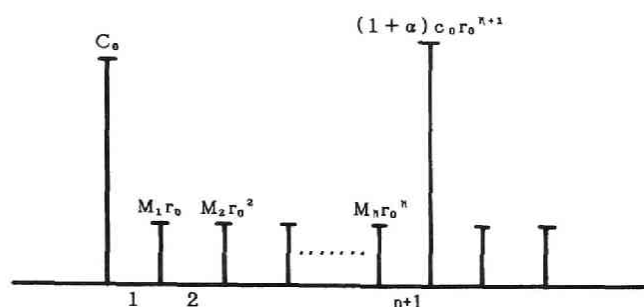


図11.8 修繕・取替モデル

ために次の点に考慮を払ってモデルを構築した。(図11.8)

- ①検討期間 T_0 は有限
- ②修繕を考慮
- ③取替には初期建設費に除却費等割増を考慮する。
- ④一般の物価上昇及び建築部門の物価上昇を分割して考慮。

(1) モデルの構築

いま変数を次のように定義する。

C_0 : 初期建設費

α : 取替時除却費等割増率

μ_t : t 年目の修繕費率 (ここでは一定値 μ とする)

M_t : t 年目の修繕費 (ここでは $M_t = C_0 \mu_t = C_0 \mu$)

T_0 : 取替周期 (耐用年数)

n : 取替に至るまでの修繕回数 (ここでは毎年修繕つまり $n = T_0 - 1$ とする)

n_1 : 取替回数 (新設時も含む)

T : 検討期間

i : 名目利子率

k : 実質利子率

e_l : 労務費上昇率

e_m : 資材費上昇率

r : 労務費率

r_0 : 建築部門の物価上昇 ($r_0 = 1 + r_1$)

合成上昇率を r_1 とすると、

$$r_1 = e_l \cdot r + e_m \cdot (1 - r)$$

h : 一般物価上昇

・新設から第1回取替までの費用の現価 P_1 は

$$P_1 = C_0 + \frac{M_1 r_0}{1+i} + \frac{M_2 r_0^2}{(1+i)^2} + \cdots + \frac{M_n r_0^n}{(1+i)^n}$$

・第1回取替から第2回取替までの費用の現価 P_2 は

$$P_2 = \frac{(1+\alpha)C_0 r_0^{n+1}}{(1+i)^{n+1}} + \frac{M_1 r_0^{n+2}}{(1+i)^{n+2}} + \cdots + \frac{M_n r_0^{2n+1}}{(1+i)^{2n+1}}$$

同様にして n_1 回取替から n 回修繕の費用の現価 P_{n1} は

$$P_{n1} = \frac{(1+\alpha)C_0 r_0^{(n_1-1)(n+1)}}{(1+i)^{(n_1-1)(n+1)}} \\ + \frac{r_0^{(n_1-1)(n+1)}}{(1+i)^{(n_1-1)(n+1)}} \left\{ \frac{M_1 r_0}{1+i} + \cdots + \frac{M_n r_0^n}{(1+i)^n} \right\}$$

ここで、

$$v = \frac{r_0^{(n+1)}}{(1+i)^{(n+1)}}, \quad MP = \frac{M_1 r_0}{1+i} + \cdots + \frac{M_n r_0^n}{(1+i)^n}$$

とすると、全体費用の現価 P は

$$P = \sum_{j=1}^{n_1} P_j = C_0 \{ 1 + (1+\alpha)v + (1+\alpha)v^2 + \cdots + (1+\alpha)v^{n_1-1} \} \\ + MP(1 + v + v^2 + \cdots + v^{n_1-1}) \\ = C_0 + (1+\alpha)C_0 v \frac{1 - v^{n_1-1}}{1-v} + MP \frac{1 - v^{n_1}}{1-v} \cdots \cdots (9)$$

いままでの議論にある現価 P は名目的な現価である。ところが実質的な現価は名目的な現価に一致するため (* 9)、実質的な正味年金換算値 (以下年価という) \bar{M} の算定式のみかかげる。

$$\bar{M} = P \times \frac{k(1+k)^T}{(1+k)^T - 1}$$

ここに $k = (1+i) / (1+h) - 1$, $T = n_1 T_0$ である。

(2) ライフサイクルコストの計算

検討期間 T を固定して、その間で可能な取替回数 n_1 (ここでは $T = n_1 T_0$ としているため、 $T_0 = T / n_1$ が整数となる場合のみ考える。) についてライフサイクルコストを

(9) 式より求めることができる。図 11.9 は $\alpha = 0.1$, $\mu = 0.02$, $i = 0.08$, $h = 0$, $r_0 = 1.0$ としたときのライフサイクルコストを示している。但し初期建設費 C_0 に対する比率で表現されている。たとえば $T = 50$ で考えるとこの間での可能な取替回数は取替しない、1 回、4 回、9 回となる。それぞれに該当するライフサイクルコストが図 11.9 の下線部分である。取替なしでは初期建設費の 1.244 倍、取替 4 回では初期建設費の 2.133 倍の費用がかかることがわかる。

| LIFE | トリカイナシ | トリカイ1 | トリカイ2 | トリカイ3 | トリカイ4 | トリカイ5 | トリカイ6 | トリカイ7 | トリカイ8 | トリカイ9 |
|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 10 | 1.124 | 1.859 | | | 4.108 | | | | | 7.871 |
| 20 | 1.192 | 1.692 | | 2.767 | 3.313 | | | | | 6.058 |
| 30 | 1.223 | 1.563 | 1.955 | | 2.773 | 3.188 | | | | 4.861 |
| 40 | 1.237 | 1.469 | | 2.076 | 2.398 | | | 3.383 | | 4.045 |
| 50 | 1.244 | 1.401 | | | 2.133 | | | | | 3.473 |
| 60 | 1.247 | 1.354 | 1.528 | 1.728 | 1.941 | 2.159 | | | | 3.058 |
| 70 | 1.248 | 1.321 | | | 1.798 | | 2.171 | | | 2.749 |
| 80 | 1.249 | 1.299 | | 1.541 | 1.691 | | | 2.177 | | 2.513 |
| 90 | 1.249 | 1.283 | 1.367 | | 1.608 | 1.745 | | | 2.179 | 2.328 |
| 100 | 1.249 | 1.272 | | 1.433 | 1.544 | | | | | 2.180 |

(撤去費割合 $\alpha = 10\%$, 維持保全費割合 $\mu = 2\%$, 名目利子率 $i = 8\%$, 一般物価上昇率 $h = 0\%$, 維持保全物価上昇率 $r_1 = 0\%$)

図 11.9 ライフサイクルコスト指標 (耐用年数と初期投資の関係)

(3) 初期建設費と耐用年数の関係

(2) において各検討期間 T における可能な取替回数毎のライフサイクルコストが計算されている。今比較しようとしている代替案を A_1 , A_2 とする。その耐用年数は取替回数で表されるから A_1 , A_2 の取替回数をそれぞれ N_1 , N_2 , 初期建設費を C_{01} , C_{02} , ライフサイクルコストの初期建設費に対する比率を a_1 , a_2 とする。(図 11.10)

代替案 A_1 , A_2 のライフサイクルコストが等しいとすると

$$a_1 C_{01} = a_2 C_{02}$$

従って

$$C_{01} = \frac{a_2}{a_1} C_{02}$$

つまりこの式は取替回数 N_2 回の代替案 A_2 を変更して取替回数 N_1 回の別の代替案 A_1 にした場合、代替案 A_2 の初期建設費の a_2/a_1 倍を代替案 A_1 の初期建設費に投入しても経済性の点では同等であることを意味する。上記のライフサイクルコスト計算と同じ数値を使って $N_2=1$ 、つまり初期建設費のみで途中取替をしない

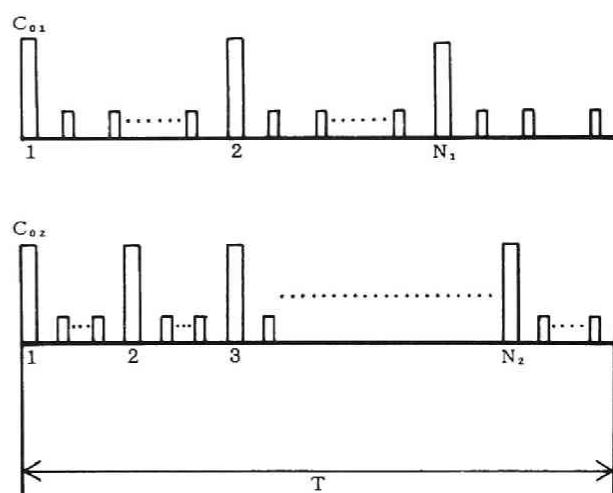


図11.10 初期建設費と耐用年数の検討代替案モデル

| LIFE | トリカイナシ | トリカイ1 | トリカイ2 | トリカイ3 | トリカイ4 | トリカイ5 | トリカイ6 | トリカイ7 | トリカイ8 | トリカイ9 |
|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 10 | 1.000 | 1.653 | | | 3.652 | | | | | 6.997 |
| 20 | 1.000 | 1.419 | | 2.321 | 2.779 | | | | | 5.082 |
| 30 | 1.000 | 1.278 | 1.598 | | 2.267 | 2.606 | | | | 3.974 |
| 40 | 1.000 | 1.187 | | 1.678 | 1.938 | | | 2.733 | | 3.269 |
| 50 | 1.000 | 1.126 | | | 1.714 | | | | | 2.791 |
| 60 | 1.000 | 1.086 | 1.225 | 1.386 | 1.556 | 1.731 | | | | 2.452 |
| 70 | 1.000 | 1.058 | | | 1.440 | | 1.738 | | | 2.202 |
| 80 | 1.000 | 1.039 | | 1.233 | 1.353 | | | 1.742 | | 2.011 |
| 90 | 1.000 | 1.027 | 1.094 | | 1.287 | 1.396 | | | 1.744 | 1.863 |
| 100 | 1.000 | 1.018 | | 1.147 | 1.235 | | | | | 1.744 |

図11.11 A_1 案に対するライフサイクルコスト比率

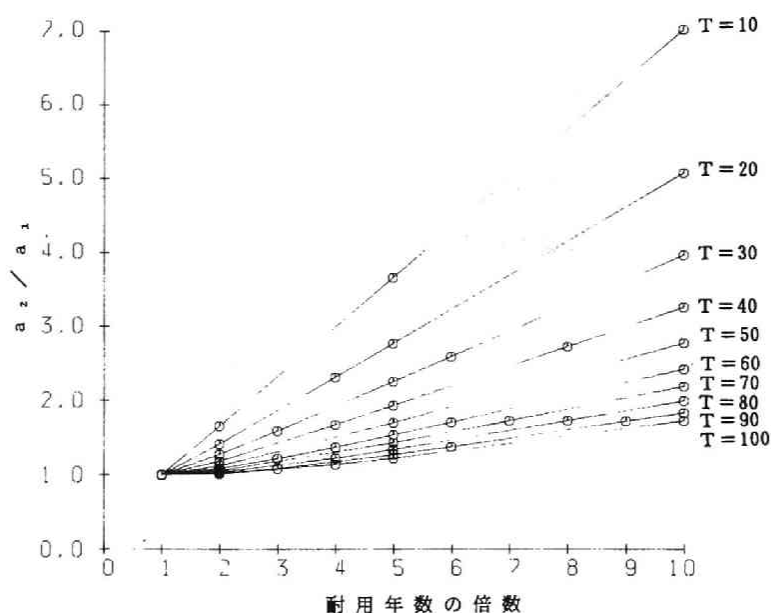


図11.12 耐用年数と初期建設費の可能割増率

案を基準に a_2/a_1 を計算したのが図 11.11 である。端的には経済性の点で耐用年数を 25 年から 50 年に延長できる部材に投入できる費用は初期建設費で前者の 1.126 倍までとわかる。図 11.11 を検討期間 T 別に取替回数と a_2/a_1 の関係をプロットすると (図 11.12)、耐用年数を仮に延長することが可能としてもそこに投入できる費用はそれほど増加しないことがわかる。

ちなみに図 11.13 には一般物価上昇、建築部門の物価上昇を考慮して $\alpha=0.1$, $\mu=0.02$, $i=0.08$, $h=0.05$, $r_n=1.04$ としたときの計算例を示す。

| ***** LIFE CYCLE COST RATE FOR EACH LIFE ***** | | | | | | | | | | |
|--|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| LIFE | トリカIナシ | トリカI1 | トリカI2 | トリカI3 | トリカI4 | トリカI5 | トリカI6 | トリカI7 | トリカI8 | トリカI9 |
| 10 | 1.149 | 2.044 | | | 4.739 | | | | | 9.236 |
| 20 | 1.266 | 2.006 | | 3.514 | 4.270 | | | | | 8.057 |
| 30 | 1.345 | 1.959 | 2.594 | | 3.877 | 4.521 | | | | 7.103 |
| 40 | 1.400 | 1.908 | | 2.996 | 3.549 | | | 5.213 | | 6.325 |
| 50 | 1.438 | 1.858 | | | 3.273 | | | | | 5.686 |
| 60 | 1.463 | 1.812 | 2.210 | 2.622 | 3.041 | 3.462 | | | | 5.159 |
| 70 | 1.481 | 1.769 | | | 2.845 | | 3.592 | | | 4.722 |
| 80 | 1.493 | 1.732 | | 2.352 | 2.679 | | | 3.681 | | 4.355 |
| 90 | 1.501 | 1.699 | 1.962 | | 2.539 | 2.836 | | | 3.742 | 4.046 |
| 100 | 1.507 | 1.671 | | 2.155 | 2.418 | | | | | 3.784 |

| ***** LIFE CYCLE COST RATE / NO REPLACEMENT ***** | | | | | | | | | | |
|---|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| LIFE | トリカIナシ | トリカI1 | トリカI2 | トリカI3 | トリカI4 | トリカI5 | トリカI6 | トリカI7 | トリカI8 | トリカI9 |
| 10 | 1.000 | 1.777 | | | 4.122 | | | | | 8.033 |
| 20 | 1.000 | 1.584 | | 2.775 | 3.372 | | | | | 6.364 |
| 30 | 1.000 | 1.455 | 1.927 | | 2.881 | 3.359 | | | | 5.277 |
| 40 | 1.000 | 1.362 | | 2.139 | 2.533 | | | 3.721 | | 4.515 |
| 50 | 1.000 | 1.292 | | | 2.275 | | | | | 3.954 |
| 60 | 1.000 | 1.237 | 1.509 | 1.791 | 2.077 | 2.365 | | | | 3.524 |
| 70 | 1.000 | 1.194 | | | 1.920 | | 2.424 | | | 3.187 |
| 80 | 1.000 | 1.159 | | 1.574 | 1.794 | | | 2.464 | | 2.916 |
| 90 | 1.000 | 1.131 | 1.306 | | 1.690 | 1.888 | | | 2.491 | 2.694 |
| 100 | 1.000 | 1.108 | | 1.429 | 1.604 | | | | | 2.510 |

(撤去費割合 $\alpha=10\%$, 維持保全費割合 $\mu=2\%$, 名目利率 $i=8\%$, 一般物価上昇率 $h=5\%$, 維持保全物価上昇率 $r_1=4\%$)

図 11.13 試算例

11.2.3 ライフサイクルコスト算定モデル

建物部分のライフサイクルコストを算定する状況は二つある。一つは代替的方法が既にあって、ライフサイクルコストを算定してその優劣を決するもので、二つは代替的方法は見つかっていないがライフサイクルコストの点でより有利な方法を見出そうとするものである。(図 11.14) 基本設計プロセスにおいて前者ではライフサイクルコストを算定することに意味があるかどうか为主要な関心事で、後者では建物全体の費用に占める当該部分のウェイトがどの程度かが問題となる。いずれにせよライフサイクルコストの算定評価が必要となるのは初期建設費に対して、予想される維持保全費が比較的高い場合である。

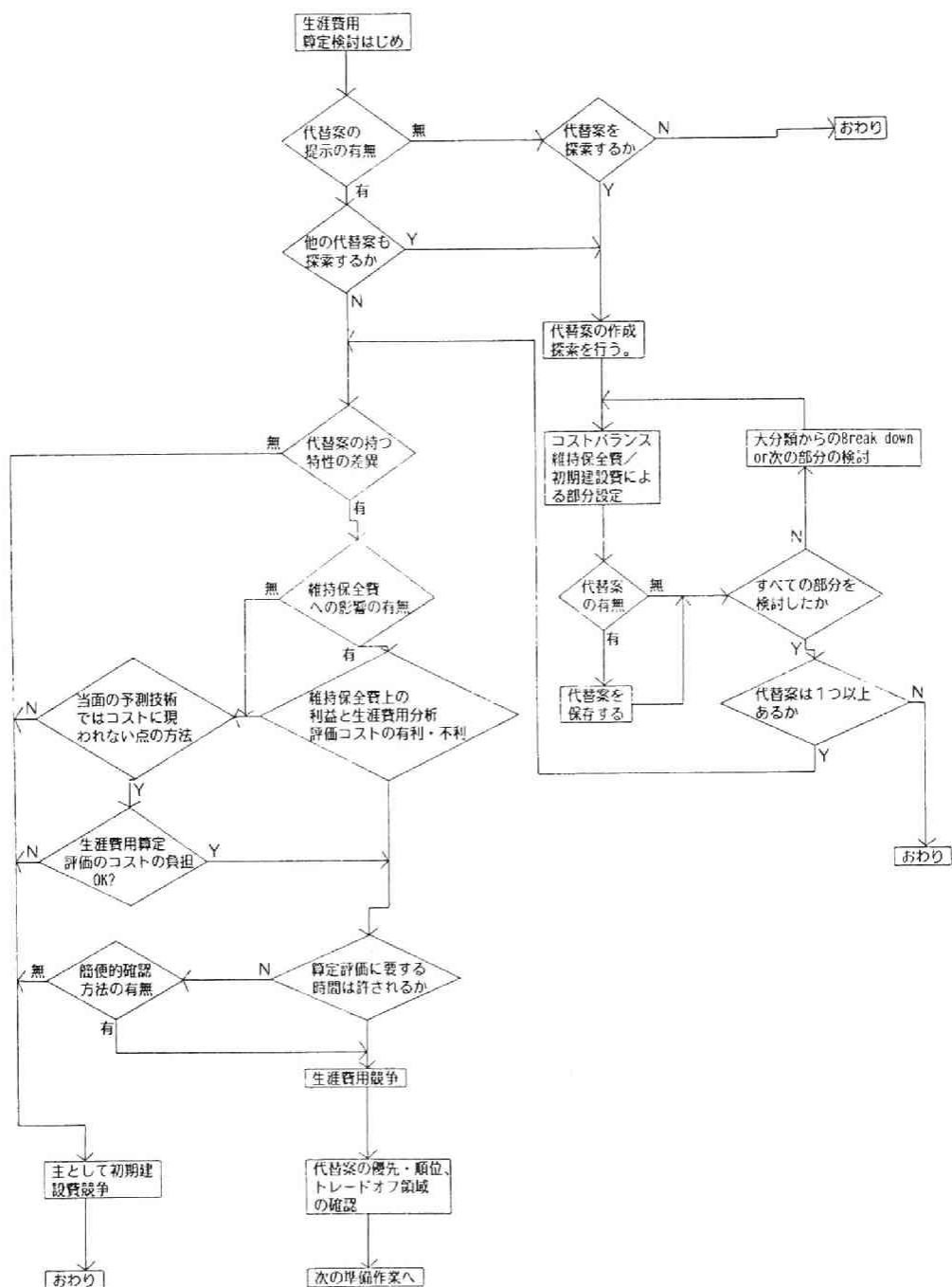


図 11.14 ライフサイクルコスト算定対象部分の選定手順

維持保全費が小さい場合は従来どおりのやり方で建設費のみの高低によって代替案の優劣を決すべきである。その判断の基準として維持保全費／初期建築費の割合を規定しておくことが一案である。本来維持保全費の正確な把握はライフサイクルコスト算定の結果求め

られるものであるが、概略のチェックは、企画・設計段階で実施することができる。一般に周期的に修繕と取替を実施する部分に関しては維持保全費と初期建設費の関係を次のようにして求めることができる。（前項においてもライフサイクルコスト等算出モデルを示しているが、それは初期建設費と耐用年数の関係をみるために検討期間Tを耐用年数の整数倍に限定している。ここではTを連続的に変化するとしている。図11.15）

いま 初期建設費 : C_0

修 繕 率 : μ

修繕周期 : t_1

取替周期 : t_2

検討期間 : T

利 子 率 : i

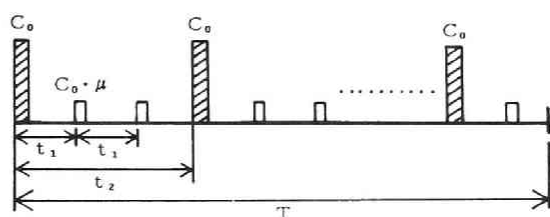


図11.15 ライフサイクルモデル

とすると、取替から取替までの間での修繕回数 n_1 は、

$$n_1 = \text{INT} \left(\frac{t_2 - 1}{t_1} \right)$$

T期間での取替回数 n_2 は、

$$n_2 = \text{INT} \left(\frac{T - 1}{t_2} \right)$$

最後の取替後T年までの修繕回数 n_3 は、

$$n_3 = \text{INT} \left(\frac{T - n_2 \times t_2 - 1}{t_1} \right)$$

で表される。（ここに初期建設費、修繕費を基準化してそれぞれ1、 μ とする）

従って取替から次の取替直前までの修繕費 R_1 は、

$$R_1 = \mu \frac{(1+i)^{n_1 t_1} - 1}{(1+i)^{n_1 t_1} \{ (1+i)^{t_1} - 1 \}}$$

最後の取替からT年までの修繕費 R_2 は、

$$R_2 = \mu \frac{(1+i)^{n_3 t_1} - 1}{(1+i)^{n_3 t_1} \{ (1+i)^{t_1} - 1 \}}$$

となり、ライフサイクルコストTcostは

$$Tcost = (1 + R_1) \frac{(1 + i)^{t_2} \{ (1 + i)^{n_2 t_2} - 1 \}}{(1 + i)^{n_2 t_2} \{ (1 + i)^{t_2} - 1 \}} + \frac{1 + R_2}{(1 + i)^{n_2 t_2}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

故に、維持保全費／初期建設費（R₀）は

$$R_0 = \frac{Tcost - 1}{1} = Tcost - 1$$

で表され、維持保全費／初期建設費の

パーセント表として表11.3に示す。

同表によれば初期建設費に関係なく、

修繕率とその周期、取替周期が与えら

れれば、直ちに維持保全費／初期建設

費の割合を読みとることができる。た

とえば T=65, t₁=5, t₂=15, μ=15% だと

その割合は i = 0 のとき 5.2、i = 0.08

のとき 0.7 となる。逆にライフサイク

ルコスト算定に付す基準を R₀ として

与えてやれば、修繕率とその周期がど

の程度であるかが容易にわかる。今 R₀

= 2 と定めると、先の例と同じく T = 65、

t₁ = 5 の場合、i = 0 では μ = 5 %、

t₂ = 35、40 の時に限って ライフサ

イクルコストが不適と判断され、i =

0.08 では逆にほとんどのケースでライ

フサイクルコスト算定が不適となる。

表11.2は建設省の庁舎3,000m²モ

デルにおける維持保全費／初期建設費

の割合の高い部分の一覧表である。

表11.2 維持保全費／初期建設費
部分別順位表……3,000m²モデル

| ランキング | 部 分 ・ 項 目 | 維持保全費／建設費 |
|-------|--------------------------|-----------|
| 1 | 内部雑 置敷き | 16.29 |
| 2 | 外部建具 鉄部・鋼合ペイント | 11.50 |
| 3 | 内部雑 雑工事・その他 | 7.76 |
| 4 | 内部雑 その他・塗装 | 6.20 |
| 5 | 内部建具 構造材 | 6.19 |
| 6 | 内部壁 布張り | 5.70 |
| 7 | 内部天井 合成樹脂エマルジョンペイント塗 | 5.50 |
| 8 | 内部壁 合成樹脂エマルジョンペイント塗 | 5.50 |
| 9 | 内部雑 にり止め金物 | 4.33 |
| 10 | 屋根 床モルタル塗 | 4.32 |
| 11 | 外部雑 その他金物 | 3.49 |
| 12 | 外部建具 シーリング | 3.01 |
| 13 | 外部壁 シーリング | 3.00 |
| 14 | 内部壁 洗面バックコンクリートブロック積み | 2.98 |
| 15 | 内部壁 せっこうボード張り | 2.45 |
| 16 | 内部床 ビニールシート張り | 2.45 |
| 17 | 内部床 タイル張り | 2.40 |
| 18 | 内部建具 ふすま・障子 | 1.96 |
| 19 | 内部雑 金属製手すり | 1.77 |
| 20 | 屋根 壁モルタル塗 | 1.76 |

表11.3 維持保全費/初期建設費のパーセント表

〔修繕率： μ ，修繕周期： t_1 ，取替周期： t_2 ，検討期間： T ，利子率： i 〕

| 〔 $t_1=5$, $T=65$, $i=0\%$ 〕 | | | | | | | |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $\mu \backslash t_2$ | 10年 | 15年 | 20年 | 25年 | 30年 | 35年 | 40年 |
| 5.0 | 630.00 | 440.00 | 345.00 | 250.00 | 250.00 | 155.00 | 155.00 |
| 10.0 | 660.00 | 480.00 | 390.00 | 300.00 | 300.00 | 210.00 | 210.00 |
| 15.0 | 690.00 | 520.00 | 435.00 | 350.00 | 350.00 | 265.00 | 265.00 |
| 20.0 | 720.00 | 560.00 | 480.00 | 400.00 | 400.00 | 320.00 | 320.00 |
| 25.0 | 750.00 | 600.00 | 525.00 | 450.00 | 450.00 | 375.00 | 375.00 |
| 30.0 | 780.00 | 640.00 | 570.00 | 500.00 | 500.00 | 430.00 | 430.00 |
| 35.0 | 810.00 | 680.00 | 615.00 | 550.00 | 550.00 | 485.00 | 485.00 |
| 40.0 | 840.00 | 720.00 | 660.00 | 600.00 | 600.00 | 540.00 | 540.00 |
| 45.0 | 870.00 | 760.00 | 705.00 | 650.00 | 650.00 | 595.00 | 595.00 |
| 50.0 | 900.00 | 800.00 | 750.00 | 700.00 | 700.00 | 650.00 | 650.00 |
| 55.0 | 930.00 | 840.00 | 795.00 | 750.00 | 750.00 | 705.00 | 705.00 |
| 60.0 | 960.00 | 880.00 | 840.00 | 800.00 | 800.00 | 760.00 | 760.00 |
| 65.0 | 990.00 | 920.00 | 885.00 | 850.00 | 850.00 | 815.00 | 815.00 |
| 70.0 | 1020.00 | 960.00 | 930.00 | 900.00 | 900.00 | 870.00 | 870.00 |
| 75.0 | 1050.00 | 1000.00 | 975.00 | 950.00 | 950.00 | 925.00 | 925.00 |
| 80.0 | 1080.00 | 1040.00 | 1020.00 | 1000.00 | 1000.00 | 980.00 | 980.00 |
| 85.0 | 1110.00 | 1080.00 | 1065.00 | 1050.00 | 1050.00 | 1035.00 | 1035.00 |
| 90.0 | 1140.00 | 1120.00 | 1110.00 | 1100.00 | 1100.00 | 1090.00 | 1090.00 |
| 95.0 | 1170.00 | 1160.00 | 1155.00 | 1150.00 | 1150.00 | 1145.00 | 1145.00 |
| 100.0 | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 | 1200.00 |

| 〔 $t_1=5$, $T=65$, $i=8\%$ 〕 | | | | | | | |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\mu \backslash t_2$ | 10年 | 15年 | 20年 | 25年 | 30年 | 35年 | 40年 |
| 5.0 | 91.71 | 53.85 | 36.24 | 26.44 | 20.92 | 16.97 | 14.92 |
| 10.0 | 97.98 | 62.12 | 45.43 | 36.15 | 30.92 | 27.18 | 25.23 |
| 15.0 | 104.26 | 70.38 | 54.63 | 45.86 | 40.93 | 37.39 | 35.55 |
| 20.0 | 110.54 | 78.65 | 63.82 | 55.58 | 50.93 | 47.60 | 45.87 |
| 25.0 | 116.81 | 86.92 | 73.02 | 65.29 | 60.93 | 57.81 | 56.19 |
| 30.0 | 123.09 | 95.19 | 82.22 | 75.00 | 70.93 | 68.02 | 66.51 |
| 35.0 | 129.37 | 103.46 | 91.41 | 84.71 | 80.93 | 78.23 | 76.83 |
| 40.0 | 135.64 | 111.73 | 100.61 | 94.42 | 90.94 | 88.44 | 87.14 |
| 45.0 | 141.92 | 120.00 | 109.80 | 104.13 | 100.94 | 98.65 | 97.46 |
| 50.0 | 148.20 | 128.27 | 119.00 | 113.85 | 110.94 | 108.86 | 107.78 |
| 55.0 | 154.47 | 136.54 | 128.20 | 123.56 | 120.94 | 119.07 | 118.10 |
| 60.0 | 160.75 | 144.81 | 137.39 | 133.27 | 130.94 | 129.28 | 128.42 |
| 65.0 | 167.03 | 153.08 | 146.59 | 142.98 | 140.95 | 139.49 | 138.73 |
| 70.0 | 173.30 | 161.35 | 155.79 | 152.69 | 150.95 | 149.70 | 149.05 |
| 75.0 | 179.58 | 169.62 | 164.98 | 162.40 | 160.95 | 159.91 | 159.37 |
| 80.0 | 185.85 | 177.88 | 174.18 | 172.11 | 170.95 | 170.12 | 169.69 |
| 85.0 | 192.13 | 186.15 | 183.37 | 181.83 | 180.96 | 180.33 | 180.01 |
| 90.0 | 198.41 | 194.42 | 192.57 | 191.54 | 190.96 | 190.54 | 190.32 |
| 95.0 | 204.68 | 202.69 | 201.77 | 201.25 | 200.96 | 200.75 | 200.64 |
| 100.0 | 210.96 | 210.96 | 210.96 | 210.96 | 210.96 | 210.96 | 210.96 |

11.2.4 建物部分のライフサイクルコスト算定モデルの比較

(1) 投資案比較の方法

建物部分の設計、仕様の代替案を経済性の点で比較する問題は一般に投資計画問題と考えることができる。

投資案は通常、寿命、報収、費用パターンを異にしており、また単発、類似反復の点でも異なる。いま金利、寿命（期間）、報収パターン、反復型の4つの要素で投資案を比較する場合、現価法、年価法、終価法のいずれが有利かをみたのが図11.16である。たとえば金利 i が一定で寿命が同じ投資案は報収パターンによらず現価法、年価法、終価法いずれの方法でもよい。ところが i 、報収パターンは一定で、反復型の投資案では寿命が異なる場合、その寿命のずれる間の投資機会の有無によって適用すべき方法が異なる。つ

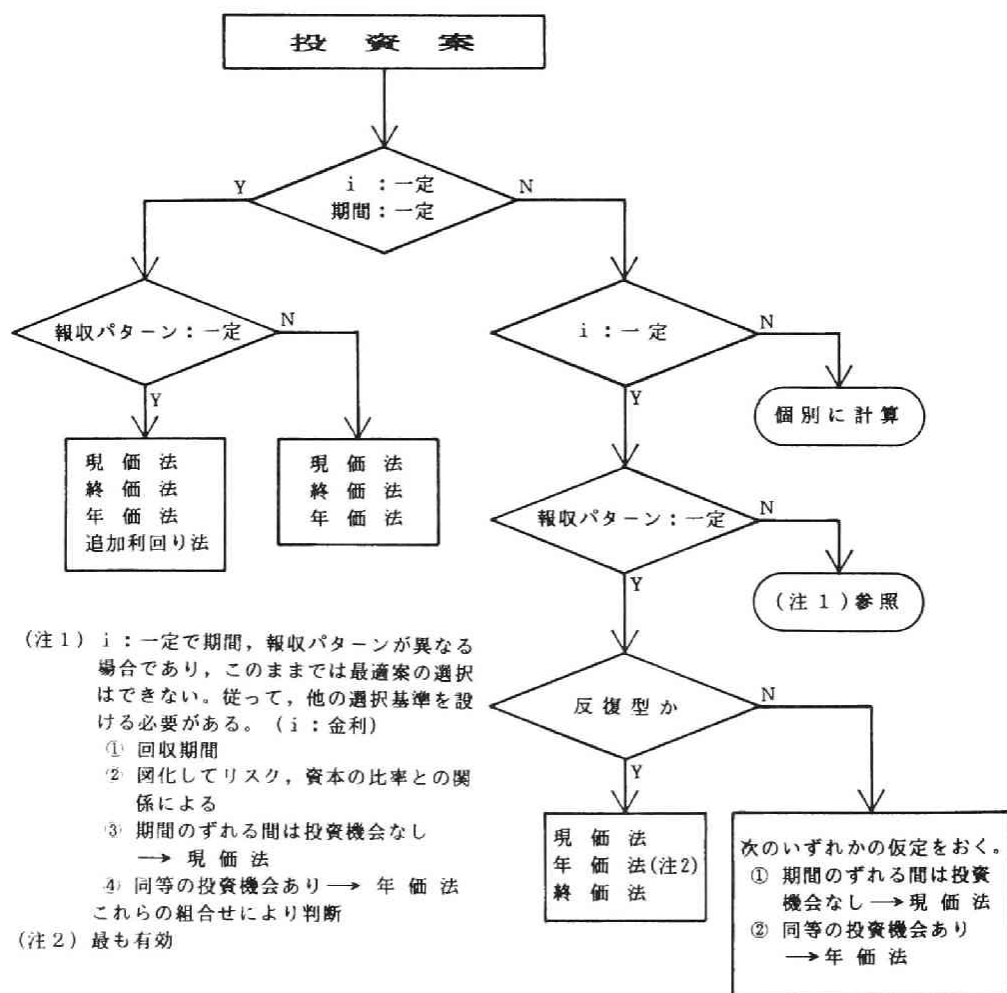


図11.16 投資案評価

まり投資機会がない場合は現価法であり、同等の投資機会がある場合は年価法である。

さて建物部分のライフサイクルコストを算定する場合の状況はいずれの場合か。多くの場合 i は一定と仮定しており、寿命は異なり、報収パターンも一定でないケースである。つまり図 11.16 では●印の部分に該当する。従って投資案の比較は単に現価法あるいは年価法によって利益最大（コスト最小）をみるだけでは不十分である。なぜなら図 11.17 のごとくプロジェクトの前半部分ではさほど利益を生まず、末期に大幅な利益を生ずる投資案の場合プロジェクトが何らかの理由で中断した時の損失が大きい。端的にはリスク負担の点での検討に欠ける。ライフサイクルコスト算定についていえば維持保全費／初期建設費の値が 0 に近い部分は初期建設時に多くの費用をかける、いわば「丈夫で長持ち」タイプ。耐用年数まで建物が存在すればよいが、途中で用途変更、取壊しにでもなれば、先のプロジェクトの中断と同じことになる。

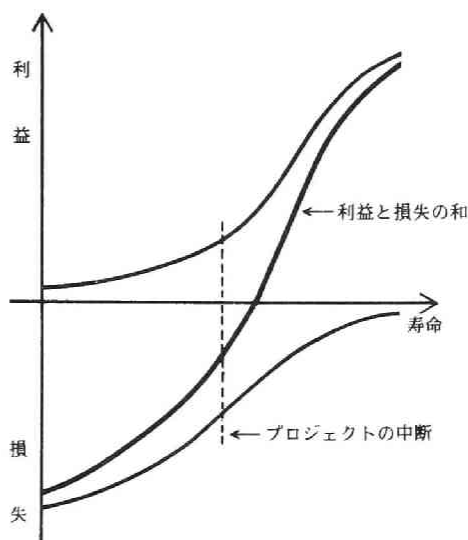


図 11.17 プロジェクトライフと損益

投資案の場合プロジェクトが何らかの理由で中断した時の損失が大きい。端的にはリスク負担の点での検討に欠ける。ライフサイクルコスト算定についていえば維持保全費／初期建設費の値が 0 に近い部分は初期建設時に多くの費用をかける、いわば「丈夫で長持ち」タイプ。耐用年数まで建物が存在すればよいが、途中で用途変更、取壊しにでもなれば、先のプロジェクトの中断と同じことになる。

いずれにせよ投資案比較に適用する現価法、年価法、終価法は金利の変動、寿命のちがひ、報収パターン等によってその適切さが異なる。

(2) 建物部分のライフサイクルコスト算定モデル

モデルに含まれる要素、特徴はモデル作成の意図、適用対象によって異なることは当然であるが、基本的な違いは時間的価値の換算方法にある。本項ではこの点について詳述する。そのためモデルを①金利を考慮しない単純集計比較（モデル 1）、②年価法による比較（モデル 2）、③年経費を現価に換算する年経費現価比較（モデル 3）の三つを考える。建物部分の修繕モデルを図 11.18 のように仮定して各比較法を検討する。なお金利を i としておく。

a. モデル 1……単純集計

$$\begin{aligned}\text{全体コスト (Tc)} &= \text{初期建設費} + \text{修繕費} \times 3 \text{ 回} + \text{取替費} \times 2 \text{ 回} + \text{大修理費} \times 1 \text{ 回} \\ &= C_0 + 3R_1 + 2R_2 + R_3\end{aligned}$$

$$\text{年平均コスト (Tav)} = Tc / T = (C_0 + 3R_1 + 2R_2 + R_3) / T$$

部分の
耐用年数 費用

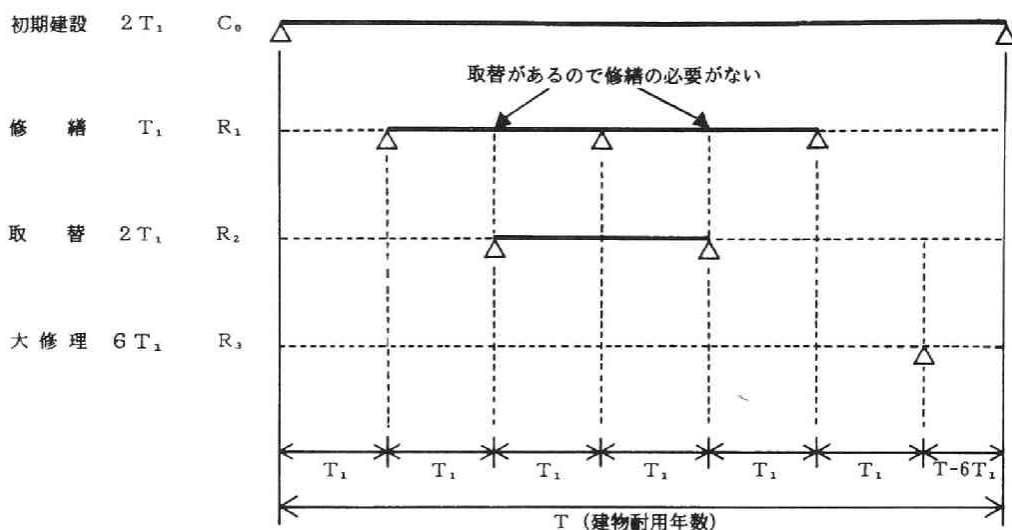


図11.18 建物部分の修繕モデル

b. モデル2……年価法

まず各コストを現価に割引し、それに資本回収係数を乗じて年価を出す。

全体コストの現価 PTC は、

$$PTC = C_0 + \frac{1}{(1+i)^{T_1}} \sum_{k=1}^3 \frac{R_1}{(1+i)^{2(k-1)T_1}} + \sum_{k=1}^2 \frac{R_2}{(1+i)^{2kT_1}} + \frac{R_3}{(1+i)^{6T_1}}$$

$$= C_0 + \frac{(1+i)^{4T_1} + (1+i)^{2T_1} + 1}{(1+i)^{5T_1}} R_1 + \frac{(1+i)^{2T_1} + 1}{(1+i)^{4T_1}} R_2 + \frac{R_3}{(1+i)^{6T_1}}$$

従って、年価 MTc は、

$$MTc = PTC \times \frac{i(1+i)^T}{(1+i)^T - 1}$$

c. モデル3……年経費現価法

まず、各コストにそれぞれの耐用年数内の資本回収係数を乗じて年価にし、それに年金現価係数を掛けて年金現価を出す。ほとんどの場合コストに直接、現価係数を乗じたものと一致する。たとえば

1 回目修繕の年経費現価 MP_{R1} は、

$$MP_{R1} = R_1 \frac{i(1+i)^{T_1}}{(1+i)^{T_1}-1} \left\{ \frac{(1+i)^{2T_1}-1}{i(1+i)^{2T_1}} - \frac{(1+i)^{T_1}-1}{i(1+i)^{T_1}} \right\}$$

$$= \frac{R_1}{(1+i)^{T_1}}$$

2 回目取替の年経費現価 MP_{R2} は、

$$MP_{R2} = R_2 \frac{i(1+i)^{2T_1}}{(1+i)^{2T_1}-1} \left\{ \frac{(1+i)^{6T_1}-1}{i(1+i)^{6T_1}} - \frac{(1+i)^{4T_1}-1}{i(1+i)^{4T_1}} \right\}$$

$$= \frac{R_2}{(1+i)^{4T_1}}$$

となる。一致しないのは次の二つの場合である。

1) 建物の耐用年数 T になった時点でも部分の耐用年数が残っている場合。

図 11.18 では大修理がこれに該当する。但し $7T_1 > T > 6T_1$

すなわち

大修理の年経費現価 MP_{R3} は、

$$MP_{R3} = R_3 \frac{i(1+i)^{T_1}}{(1+i)^{T_1}-1} \left\{ \frac{(1+i)^T-1}{i(1+i)^T} - \frac{(1+i)^{6T_1}-1}{i(1+i)^{6T_1}} \right\}$$

である。

2) 建物の耐用年数 T になった時点で部分の耐用年数も丁度寿命に達した場合で、当該部位の修繕もしくは取替が類似反復型として計算された場合。

図 11.18 では、たとえば $T = 7T_1$ とし、 T_1 毎に R_4 のコストで取替、修繕と無関係に施工される保全工事を仮定すると、(耐用年数 T_1)

保全工事の年経費現価 MP_{R4} は、

$$MP_{R4} = R_4 \frac{i(1+i)^{T_1}}{(1+i)^{T_1}-1} \left\{ \frac{(1+i)^{7T_1}-1}{i(1+i)^{7T_1}} - \frac{(1+i)^{T_1}-1}{i(1+i)^{T_1}} \right\}$$

$$= R_4 \frac{(1+i)^{5T_1} + (1+i)^{4T_1} + (1+i)^{3T_1} + (1+i)^{2T_1} + (1+i)^{T_1} + 1}{(1+i)^{6T_1}}$$

となり、これは保全コスト R_4 の $T_1 \sim 6T_1$ での支出すべてを現価に換算するものである。

1) のケースは建物が耐用年数に近い時点で修繕、取替等が行われ、当該部位が耐用年数に達していない場合、建物の耐用年数までの年価分だけを年経費現価に加算するものである。ちなみにモデル②の年価法では建物耐用年数に近い時点での修繕、取替等のコストもすべて年価に反映される。見方をかえれば耐用年数に達していない部位にはその残存価値を認めることと経済計算上は同じである。つまり年経費現価法においては「各年度への費

表11.4 ライフサイクルコスト算定モデルの特徴

| | | モデル 1 | モデル 2 | モデル 3 | |
|--------------|--------------|------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|
| モデルに含まれる要素 | コスト | 建設コスト | ○ | ○ | |
| | | 保全・運用コスト | ○ | ○ | × |
| | | パターン | 一定額 | 一定額 | 一定額 |
| | | 修繕コスト | ○ | ○ | ○ |
| | | パターン | 初期建設費の一定割合 | 初期建設費の一定割合 | 初期建設費の一定割合 |
| | | 取替コスト | ○ | ○ | ○ |
| | パターン | 初期建設費の一定割合 | 初期建設費の一定割合 | 初期建設費の一定割合 | |
| | 廃棄処分コスト | | ○ | ○ | ○ |
| | 利子率 | | × | 一定 | 一定 |
| | インフレ率 | | × | × | × |
| 技術革新の考慮 | | × | × | × | |
| 効用 | | × | × | × | |
| 税制 | | × | × | × | |
| 劣化量、劣化関数との関連 | | × | × | × | |
| 特徴・問題点 | 時間的価値の換算 | | 利子率 0 | 正味年金換算値 | 正味現価 |
| | 比較検討期間の変化の影響 | | 検討期間の満了の直前で修繕、取替があるか否かで大きくかわる。 | 検討期間の満了の直前で修繕、取替があるか否かで大きくかわる。 | 左記の変化があまりない |
| | 支出の形態、リスクの考慮 | | × | × | × |
| | 誤差の検討・程度 | | × | × | × |
| | 部位，部分のわけ方 | | × | × | × |
| | 部位相互の関係の考慮 | | × | × | × |

注 1：表中の○印は当該要素が含まれている，×印は含まれていないことを示す。

注 2：上記以外にもたとえば oid MAPI のような操業劣性を考慮したモデルもある。これは劣性費用を毎年一定額ずつ増加させることにより設備更新の時期を求めるものであるが、上記モデル②の保全・運用、修繕コストを操業劣性とみなせば、まったく同じ計算結果になる。

用などの割当（年価）が設備などの寿命に基づいて行うのを原則としており、比較期間は費用等の割当には直接関係はない」（* 1 2）としている。

（上記の比較期間は一般には代替案比較の場合の比較検討期間をいうが、ここでは建物の耐用年数としておく。）

（3）ライフサイクルコスト算定モデルの特徴

上記の三つのモデルにおいて考慮されている要素、特徴、問題点について簡単に表 1 1. 4 にまとめておく。

本節に論述したモデルはいずれも直接維持保全費を問題としており適用した部分の物理的な劣化量とその許容水準などの考慮に欠ける。端的にいうと問題は二つ。一つは経済的な修繕周期、修繕率を論理的に求めることができないこと。二つは修繕の方法、タイミングは単に耐久性のみならず経営主体の管理水準、居住者の要求水準によって異なる。この点を修繕周期、修繕率等と整合的に検討する方法とはなっていないこと。

従って次節以降でこれらを考慮した維持保全の最適化の方法論について論述する。

1 1. 3 維持保全問題の記述

建築物は経年とともに減耗、破損、汚損等によって劣化する。この劣化を最小限に止め、あるいは予防し、初期の状態に回復するため修繕が実施される。その修繕は一般に「一定周期で予防的に実施するのが経済的」とされている。しかし図 1 1. 1 に示したとおり維持保全に関して考慮すべき点は多い。これらを整合的に取り扱った例は未だ存在しない。

ここでは建築物の部位、部分に限定して修繕計画の最適化を論理的に行う方法について論述する。

1 1. 3. 1 用語の定義

建築保全に関する用語、定義は未だ定着していない。本節では次のように用語を限定して使用する。

劣化：構成材が経年とともに自然的、人為的、偶発的に減耗、破損、汚損すること。

修繕：構成材が劣化した場合に、この劣化を回復するために構成材を修復又は取替ること。改良、模様替、保守点検、清掃は含まない。

劣化関数：構成材の初期機能を F_0 、時点 t までに低下した機能を $F(t)$ とし、

劣化関数 $f(t)$ は

$$f(t) = \frac{F(t)}{F_0} \times 100$$

で表されるものとする。 ($0 \leq f(t) \leq 100$)

劣化量：時点 t_1 における劣化量とは劣化関数 $f(t_1)$ の値。

劣化量の規定値：構成材は通常 $f(t) = 100$ 、つまり完全に劣化しつくすまで使用されることは少ない。そこに至るまでの間で当該構成材に求められている最低限の機能、これ以上がまんできないという限界などによって修繕が実施される。その時の劣化量である。これは個人、企業など修繕決定者によって変化し得るし、信頼性工学にいう劣化故障の規定値と同義である。

物理的耐用年数：劣化関数 $f(T_0) = 100$ となる年数 T_0 。

修繕費：修繕を実施するに要する費用。

維持保全費：初期建設費と修繕費の和。

なお構成材の劣化には技術革新による当該構成材の相対的劣化、陳腐化及び効用低下の検討も必要であるが、本章では除外した。

11.3.2 劣化関数と修繕区分

定義より劣化関数は図 11.19 に示す曲線となる。つまり構成材は建設直後 ($t=0$, $f(0)=0$) から劣化が始まり、物理的耐用年数 ($t=T_0$, $f(T_0)=100$) で使用に耐えられなくなる。その間の推移は図 11.19 のいずれかの曲線で近似できる。

一方構成材の修繕は劣化量が規定値に達した部分のみを対象にする場合もあれば、全体を対象にする場合もある。修繕区分の問題である。いずれをとるかは構

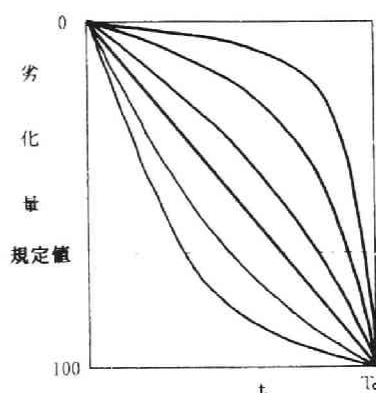


図 11.19 劣化関数

成材の種類、建物機能に及ぼす影響などによる決定者の判断如何。さらに構成材の劣化は部分により、使用場所により異なり、一般に図 11.20 のような正規分布を示す。つま

り劣化量が特定の値に達する時間にはバラツキがあり、時刻 T_1 においても規定値に達している部分もあればそうでない部分もある。これら細部に立ち入って検討することはいたずらにモデルを煩雑にするのでここでは平均値の劣化関数で検討する。

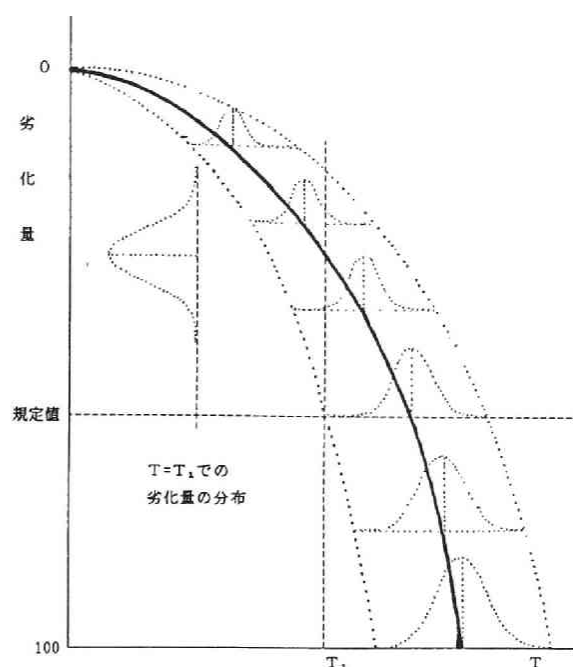


図11.20 劣化関数と確率分布

11.4 維持保全計画とモデル

11.4.1 各種のモデルの構築

修繕のやり方は主として次の三つが考えられる。

(ここに修繕を狭義の修繕と取替にわけ、修繕は狭義の意で使用する。)

ケース1……一定周期で修繕を行う(計画修繕)

ケース2……修繕を行わず、取替のみを行う(非修繕取替)

ケース3……劣化量がある規定値に達した場合に修繕を行う(事後修繕)

ここでモデルの仮定及び変数を表11.5のごとく定めると、各ケースのモデルは以下の数式によってその維持保全費が求められる。

(1) 計画修繕モデル(図11.21)

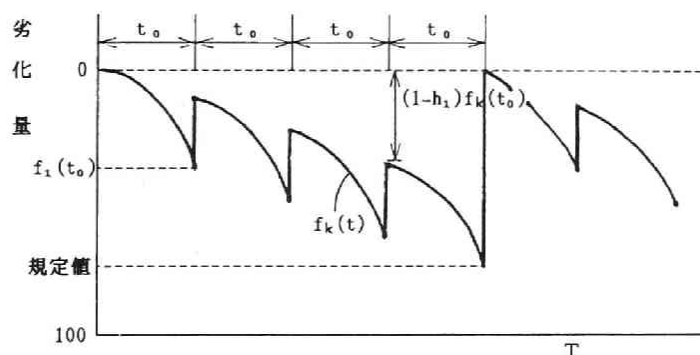


図11.21 計画修繕モデル

表 11.5 修繕計画モデルの仮定，変数の定義

1. 劣化関数は構成材の初期機能を F_0 ，時点 t までに低下した機能を $F(t)$ としたとき

$$f(t) = \frac{F(t)}{F_0} \times 100 \quad (0 \leq f(t) \leq 100)$$

で表されるものとする。この $f(t)$ の値を劣化量とし、 $f(t) = k_1 \times t^{k_2}$
(k_1, k_2 : 係数, t : 年) で表す。

2. 修繕費は、劣化量に比例する。
3. 取替費用は、初期投資に一定の割合で増加する。
4. 劣化量の規定値を定め、劣化量はその値に達する場合、修繕または取替を行わなければならないものとする。この修繕、取替のやり方として次の三つを考える。

CASE 1 : 一定周期で修繕を行う。ただし、 n 回目と $(n+1)$ 回目の修繕との間で
(計画修繕) 劣化量が規定値を越した場合、 n 回目は修繕を行わないで取替を行う。

CASE 2 : t 年目と $(t+1)$ 年目の間で劣化量が規定値を越した場合、 t 年目に
(非修繕取替) 取替を行う。(修繕は行わない。)

CASE 3 : t 年目と $(t+1)$ 年目の間で劣化量が規定値を越した場合、 $(t+1)$
(事後修繕) 年目に修繕を行う。ただし、修繕を行っても 1 年未満で劣化量が規定
値を越す場合は、取替を行う。

5. 修繕による修復量は、その時点の劣化量に比例する。

| | |
|--|---|
| $f_k(t)$: $(k-1)$ 次修繕後の劣化関数 | T_0 : 物理的耐用年数 |
| P_j : CASE j の維持保全費の正味現価の和 | T_1 : 検討期間 |
| M_j : P_j の正味年金換算値 | t_k : 事後修繕の場合の $(k-1)$ 次修繕後 k 次修繕までの期間 |
| C_0 : 初期建設費 | t_0 : 計画修繕周期 (CASE 1) 取替周期 (CASE 2) |
| C_1 : 取替費 ($C_1 = (1 + \alpha) \cdot C_0$) | n_1 : 検討期間 T_1 内の取替回数 |
| C_2 : 修繕費係数 | n_2 : 取替までの修繕回数 |
| α : 取替費割増率 | n_3 : n_1 回取替後 T_1 までの修繕回数 |
| h_1 : 計画修繕時修復率 | i : 利子率 |
| h_2 : 事後修繕時修復率 | |
| d : 劣化量の規定値 | |

$$M_1 = P_1 \cdot \frac{i(1+i)^{T_1}}{(1+i)^{T_1} - 1}$$

$$P_1 = C_0 + C_1 \frac{(1+i)^{n_1(n_2+1)t_0} - 1}{\{(1+i)^{(n_2+1)t_0} - 1\}(1+i)^{n_1(n_2+1)t_0}}$$

$$+ C_2 \frac{(1+i)^{n_1(n_2+1)t_0} - 1}{\{(1+i)^{(n_2+1)t_0} - 1\}(1+i)^{n_1(n_2+1)t_0}} \cdot \sum_{k=1}^{n_2} \frac{f_1(t_0) \frac{1-(1-h_1)^k}{h_1}}{(1+i)^{kt_0}}$$

$$+ \frac{C_2 \cdot f_1(t_0)}{(1+i)^{n_1(n_2+1)t_0}} \sum_{k=1}^{n_2} \frac{\frac{1-(1-h_1)^k}{h_1}}{(1+i)^{kt_0}} \dots\dots\dots (11)$$

(2) 非修繕取替モデル (図11.22)

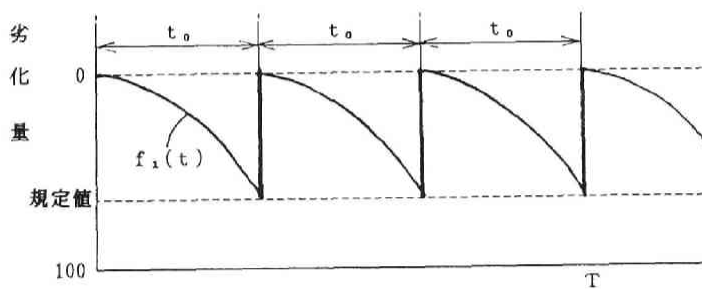


図11.22 非修繕取替モデル

$$M_2 = P_2 \frac{i(1+i)^{T_1}}{(1+i)^{T_1} - 1}$$

$$P_2 = C_0 + C_1 \frac{(1+i)^{n_1 t_0} - 1}{\{(1+i)^{t_0} - 1\} (1+i)^{n_1 t_0}} \dots\dots\dots (12)$$

(3) 事後修繕モデル (図11.23)

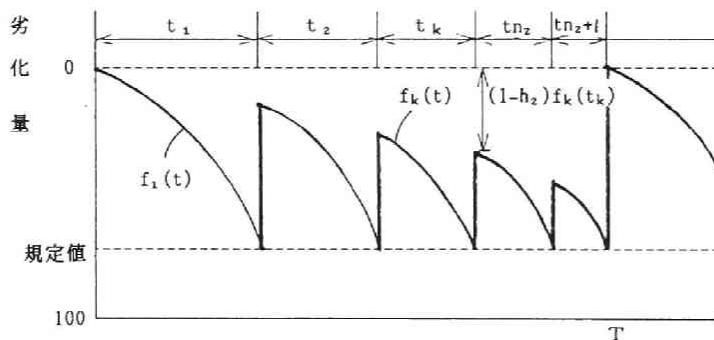


図11.23 事後修繕モデル

$$M_3 = P_3 \frac{i(1+i)^{T_1}}{(1+i)^{T_1} - 1}$$

$$P_3 = C_0 + C_1 \frac{(1+i)^{n_1 t_e} - 1}{\{(1+i)^{t_e} - 1\} (1+i)^{n_1 t_e}}$$

$$+ C_2 \frac{\{(1+i)^{n_1 t_e} - 1\} (1+i)^{t_e}}{\{(1+i)^{t_e} - 1\} (1+i)^{n_1 t_e}} \cdot \sum_{k=1}^{n_2} \frac{f_k(t_k)}{\sum_{r=1}^k t_r (1+i)}$$

$$+ C_2 \frac{1}{(1+i)^{n_1 t_e}} \cdot \sum_{k=1}^{n_3} \frac{f_k(t_k)}{\sum_{r=1}^k t_r (1+i)} \dots\dots\dots (13)$$

$$\text{ここに } t_e = \sum_{r=1}^{n_2+1} t_r$$

$$f_k(t) = (1-h_2)f_{k-1}(t_{k-1}) + f(t), \quad 0 \leq t \leq t_k, \quad k=1, 2, \dots, n_2+1$$

$$(f_0(t)=0, f_1(t)=f(t))$$

11.4.2 モデルの試算例

(1) 3つのモデルを使って、以下4点について全般的検討を行った。

その際主として変化させたパラメータとその範囲は

- ・ 検討期間 (10～60年) 、
- ・ 構成材の物理的耐用年数 (10～50年) 、
- ・ 劣化量の規定値 (30～70) 、
- ・ 修復率 (10～100) 、
- ・ 劣化関数の形状 (4本)

である。

①物理的耐用年数 T_0 を一定にして劣化関数の形状を変化させた場合

(図11.24-1～11.24-4)

- a. ケース1は全体に修繕費最小となる場合が多い。修復率が低い場合もしくは $h_1 = h_2$ のとき、凹型劣化関数(指数部が1以下)では不利となる。つまり計画修繕は一般に有利で、修繕をしてもさほど修復しないか、すぐ劣化する場合不利となる。
- b. 劣化量の規定値が30ときびしい場合はいずれの劣化関数でもケース2が修繕費最小となることはない。規定値が70と大きくなると修復率が低い場合に修繕費最小となる。つまり非修繕取替はよほどのことがない限り有利ではない。
- c. 凸型劣化関数(指数部が1を超える)では一部の例外はあるにせよケース1が有利。
- d. ケース3が有利になるのは $h_1 = h_2$ 、もしくは T_0 に比べ T_1 が短い場合に多い。つまり事後修繕は計画的に修繕しても、事後的に修繕しても修復の程度が同じ場合か、もしくは物理的耐用年数よりも検討期間が短く、その間に事後修繕が不要であるか、わずかな場合であり、現実にはおこりにくい。
- e. 全体として検討期間が長くなるにつれ、有利であるものと不利であるものの差が拡

図の見方：図は各劣化関数の修繕方法別に修復率 h_1, h_2 を(10,50,80,100)とした場合の状況が図化されている
 横軸の数値は $\{C(i)/C_{min}-1\} \times 100, i=1,2,3$ の値である。但し、 $C(i)$ ：CASE i の修繕費、 C_{min} ：修繕費最小を表す。従って棒グラフ表示のないものが当該条件で修繕費が最小となるCASEで、その値より多い割合を%で棒グラフ表示している。例えば $h_1=.8, h_2=.5$ の場合 $f(t)=5.01 \times t^{1.3}$ の下ではCASE 1 が修繕費最小で、CASE 2 は10%、CASE 3 は40%増加となる。(図11.24-5の例)

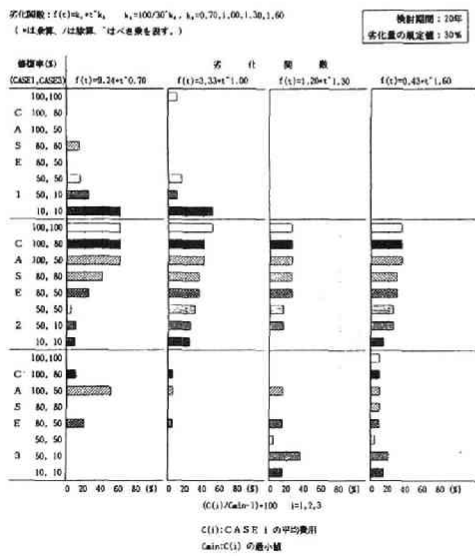


図 11.24-1 劣化関数の違いによる修繕費比較 ($T_0=30, T_1=20, d=30$)

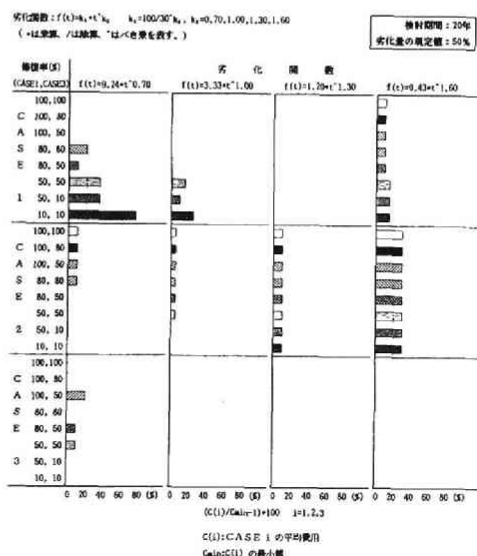


図 11.24-2 劣化関数の違いによる修繕費比較 ($T_0=30, T_1=20, d=50$)

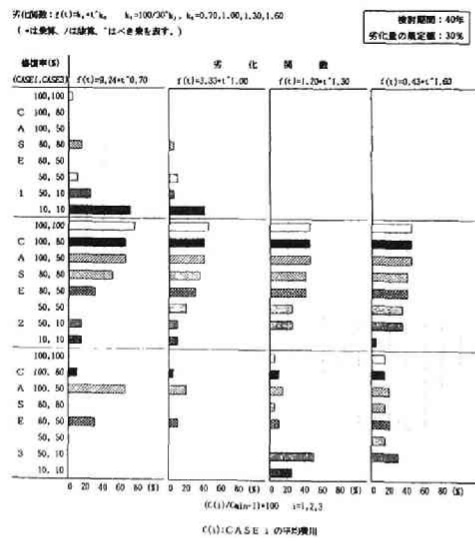


図 11.24-3 劣化関数の違いによる修繕費比較 ($T_0=30, T_1=40, d=30$)

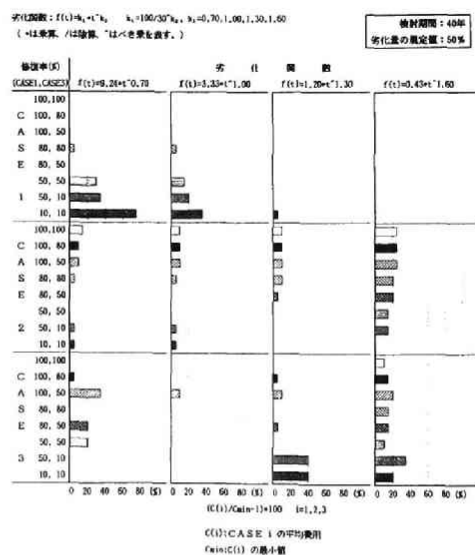


図 11.24-4 劣化関数の違いによる修繕費比較 ($T_0=30, T_1=40, d=50$)

劣化関数: $f(t)=k_1 \cdot t^k$ $k_1=100/T_0^k \cdot k_2$, $k_2=1.30$, $T_0=10, 20, 30, 40, 50$
 (*は乗算、/は除算、^はべき乗を表す。)

検討期間: 40年
 劣化量の規定値: 30%

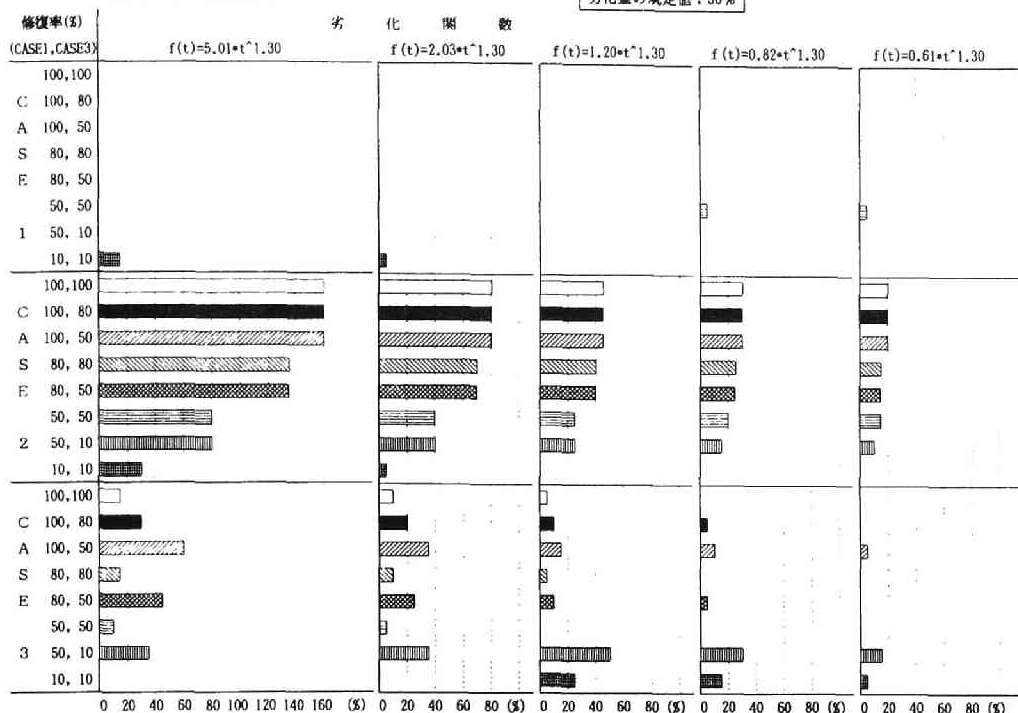


図 1.24-5 劣化関数の違いによる修繕費比較 ($T_0=10 \sim 50$, $T_1=40$, $d=30$)

劣化関数: $f(t)=k_1 \cdot t^k$ $k_1=100/T_0^k \cdot k_2$, $k_2=1.30$, $T_0=10, 20, 30, 40, 50$
 (*は乗算、/は除算、^はべき乗を表す。)

検討期間: 40年
 劣化量の規定値: 70%

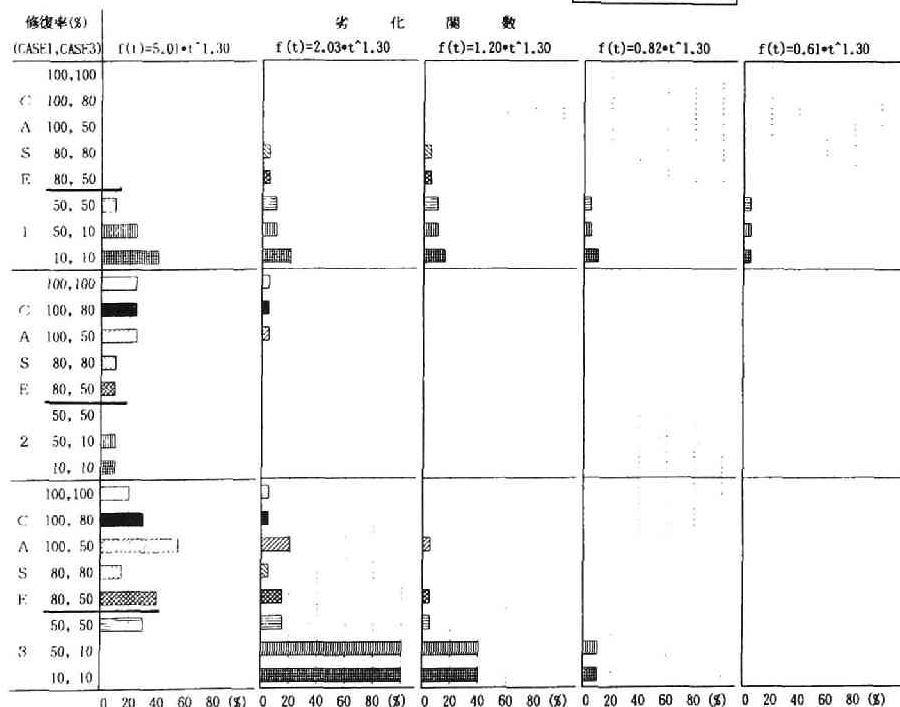


図 1.24-6 劣化関数の違いによる修繕費比較 ($T_0=10 \sim 50$, $T_1=40$, $d=70$)

大し、逆に規定値が大きくなるとその差は縮小する。

②劣化関数の指数部を一定にして T_0 を変化（図11.24-5～11.24-6）

- a. 劣化量の規定値が30程度ならばケース1がほぼ有利である。規定値が大きくなると、修復率が低い部分で不利になる。
- b. 逆にケース2は規定値が大きい時に有利となる。つまり相当程度がまんできるような構成材では修繕をくり返すよりも、取替えた方が有利。
- c. ケース3は全体にあまり有利でない。

③ケース1の計画修繕費用を最小にする周期 t_0 。（表11.6）

劣化関数 $f(t) = 5.01 \times t^{1.3}$ を例に T_1 を1～30年変化させ、その結果を示す。

($h_1 = 0.8$, $h_2 = 0.5$, $d = 70$)

- a. $1 \leq T_1 \leq 30$ のほとんどの場合ケース1が最も有利となっている。その場合、12年までは修繕周期の違いが反映されているがその後は毎年修繕するケースが有利となっている。
- b. ケース2は $f(t)$ が規定値に達する年数の整数倍の年に有利となっている。それ以外ではケース2は有利とならない。
- c. 全体として T_1 をいくらにとるかは計画修繕の最適周期のみならずケース2、ケー

表11.6 劣化関数 $f(t) : 5.01 \times t^{1.3}$ の修繕費比較

| 検討期間 | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | 検討期間 | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 |
|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| 1 | ○-1 | ○ | ○ | 16 | ○-1 | × | × |
| 2 | ○-2 | ○ | ○ | 17 | ○-1 | × | × |
| 3 | ○-3 | ○ | ○ | 18 | ○-1 | × | × |
| 4 | ○-4 | ○ | ○ | 19 | ○-1 | × | × |
| 5 | ○-5 | ○ | ○ | 20 | ○-1 | × | × |
| 6 | ○-6 | ○ | ○ | 21 | × | ○ | × |
| 7 | × | ○ | ○ | 22 | ○-1 | × | × |
| 8 | × | × | ○ | 23 | ○-1 | × | × |
| 9 | ○-5 | × | × | 24 | ○-1 | × | × |
| 10 | ○-5 | × | × | 25 | ○-1 | × | × |
| 11 | ○-6 | × | × | 26 | ○-1 | × | × |
| 12 | ○-6 | × | × | 27 | ○-1 | × | × |
| 13 | × | ○ | × | 28 | ○-1 | × | × |
| 14 | × | ○ | × | 29 | ○-1 | × | × |
| 15 | ○-5 | × | × | 30 | ○-1 | × | × |

○：ケース 1～ケース 3の中で修繕費が最小のケース。

×：そうでないもの。

ケース 1（計画修繕）のところの数字は計画修繕周期のうち最小の修繕費与える周期。

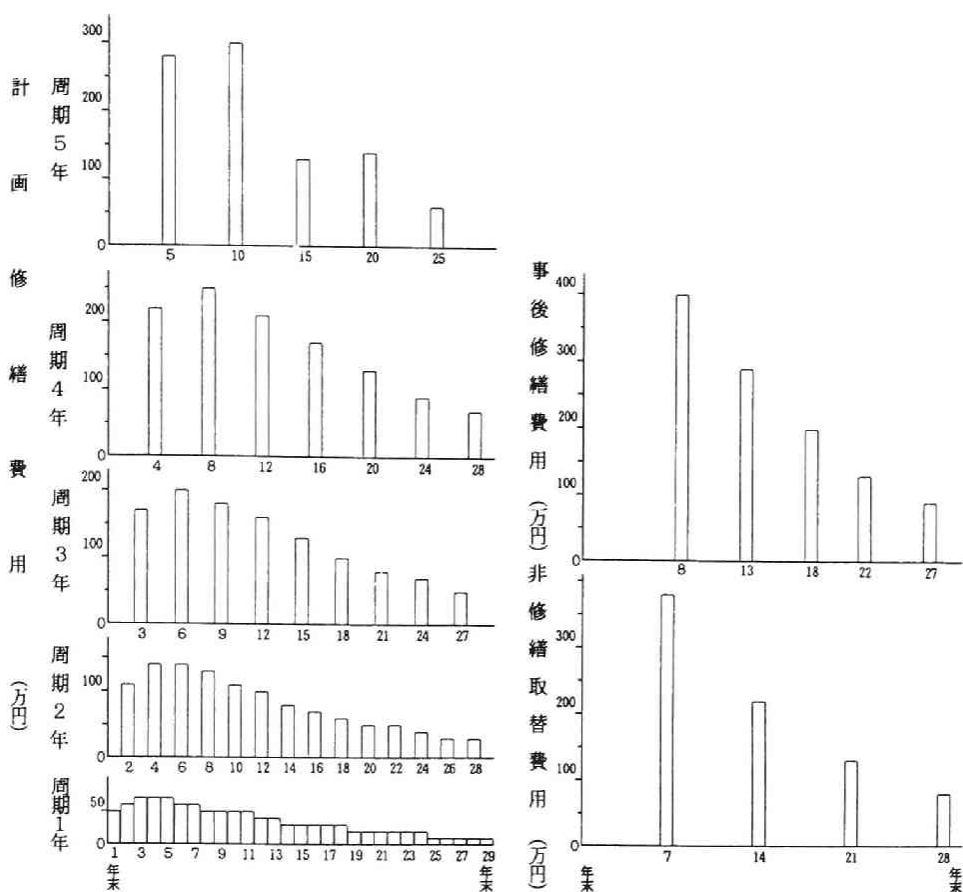


図11.25-1 修繕費の発生状況（現価）

ス3との比較、つまり修繕費用を最小にする修繕計画を決定することに多大な影響を与える。

④維持保全費の傾向（図11.25）

劣化関数 $f(t) = 5.01 \times t^{1.3}$ ($h_1 = h_2 = 0.5$, $d = 70$) を例にケース1～3の維持保全費、さらにケース1の計画修繕費用の発生状況は修繕周期別に示す。累積現価図よりこの例の場合はケース2の累積曲線が全体に最も低い位置にあることがわかる。同図はたとえば当該構成材が何らかの理由で T_1 に至る前に廃棄される場合のリスクの検討に役立つ。

(2) 次に特定の劣化関数、変数を次のように仮定して具体的に試算した。

$$f(t) = 5.01 \times t^{1.3} \quad (k_1 = f(T_0) / 10^{1.3} = 5.01)$$

$$C_0 = 500 \text{ (万円)} \quad d = 70$$

$$C_2 = 5 \text{ (万円)} \quad T_0 = 10 \text{ (年)}$$

$$\alpha = 0.3 \quad T_1 = 30 \text{ (年)}$$

$$h_1 = 0.9 \quad i = 0.08$$

$$h_2 = 0.7$$

以下、検討期間、物理的耐用年数、劣化関数の形状、規定値、修復率について検討を加える。

①検討期間(T_1 , 図11.2.6)

当初に修繕計画の経済性評価を行う場合、その検討期間(T_1)のとり方は採用すべき修繕方法に大きく影響する。

図11.2.6によれば $T_1 > 15$ の場合はケース1で修繕周期(t_0)1年の方法が最も有利となる。 $T_1 \leq 14$ では修繕周期の長い方が有利となる。 T_1

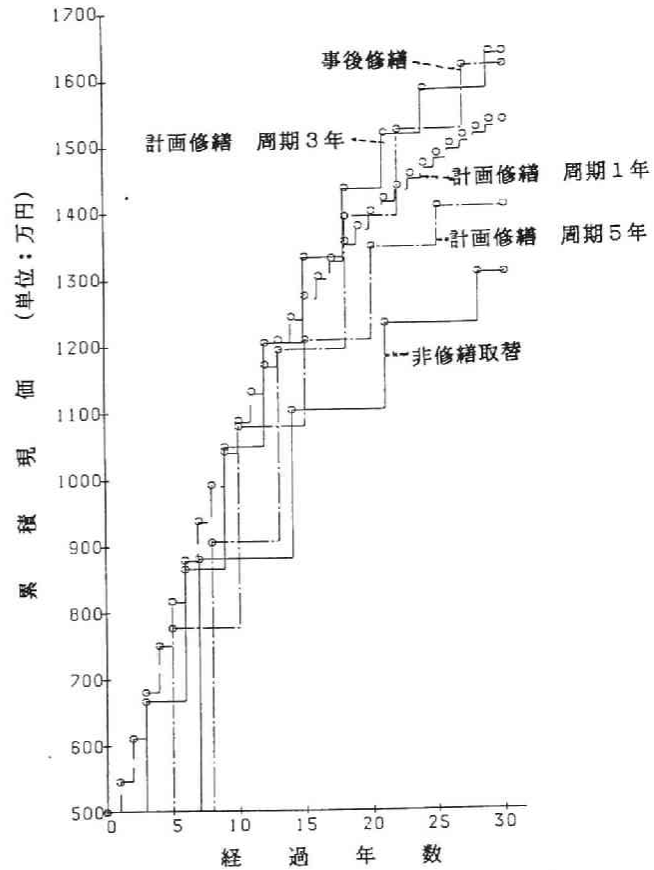


図11.2.5-2 修繕費の発生状況(現価)

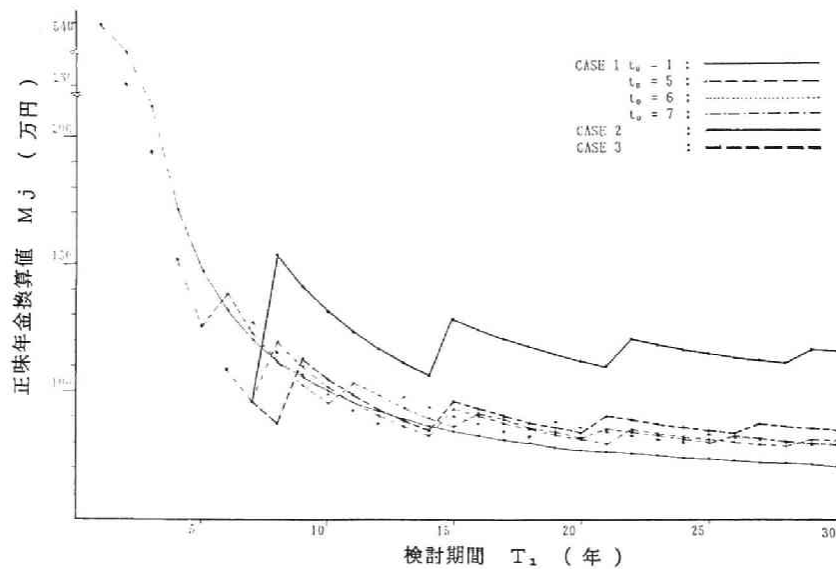


図11.2.6 維持保全費の変化(検討期間)

=30の近辺では振幅が小さく、ほぼ定常化している。この時点での最善策と次善の方策との差の割合は6.2%である。ケース2が最善となることはなく、ケース3は $T_1=8$ で一度最善となる。

②物理的耐用年数

(T_0 , 図11.27)

建築構成材の物理的耐用年数によっても修繕方法は異なる。図11.27は劣化関数の指数部を固定して T_0 を4~30年($k_1=100/T_0^{k_2}$)変化させたものである。 $T_0 \leq 21$ の範囲でケース1, $t_0=1$ の方法が最も有利となっており、その後ケース1, $t_0=15$ にかわる。 $T_0 \geq 24$ ではケース3が最も有利となる。ケース2はいずれの場合も最も不利な方法である。

③劣化関数の形状

(k_2 , 図11.28)

前述のとおり構成材は建設直後($t=0, f(0)=0$)から劣化が始まり、物理的耐用年数($t=0, f(T_0)=100$)で使用に耐えられなくなる。その間の推移は図11.19のいずれかの曲線で近似できる。いま k_2 を0.5~2.0の間で変化させて各関数

で有利な修繕方法をみる。 $k_2 \geq 1.2$ つまり凸型曲線になるにつれ、ケース1, $t_0=1$ の方法が最も経済的で $k_2 \leq 1.1$ ではケース1のうち修繕周期が長いものが経済的となってい

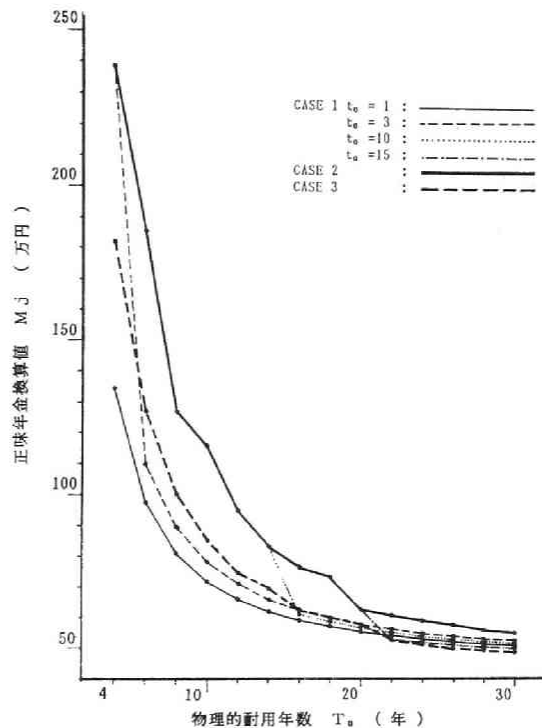


図11.27 維持保全費の変化(物理的耐用年数)

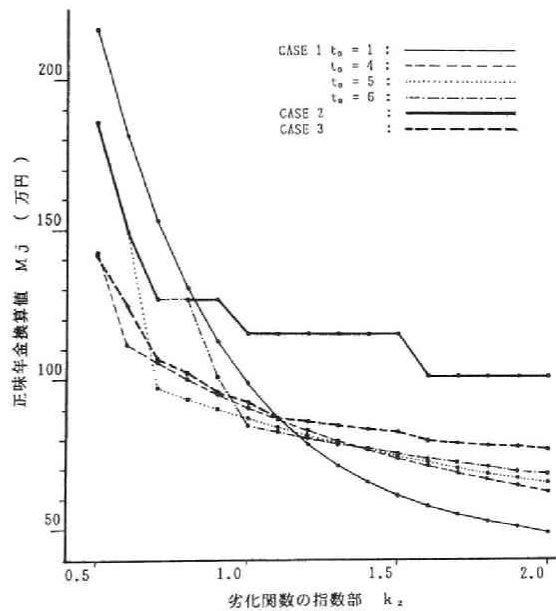


図11.28 維持保全費の変化(劣化関数の形状)

る。ケース2, 3が有利となることはない。

④規定値 (d , 図11.29)

経験値、理論値いずれかで劣化関数が確定した場合にも、修繕の意思決定者の態度により修繕時期は異なる。がまん強い意思決定者は相当程度の劣化を許容するであろうし、逆に外観等に初期機能に近いものを要求する決定者はさほど許容しない。これらの態度、端的にはがまんの程度が修繕方法にどう影響するかをみたのが図11.29である。この関数に関する限り、ケース1、 $t_0=1 \sim 4$ の方法は規定値 d の影響をまったくうけていない。周期1年で「計画修繕」を実施するのが最も経済的で、意思決定者のがまん強さによらない。ケース2はがまんすればする程経済的にはなるが、所詮最も不利な方策である。

⑤修復率 (h_1, h_2 , 図11.30)

最善の修繕方法は修復率によっても異なる。「計画修繕」の修復率は「事後修繕」のそれより一般に高い ($h_1 \geq h_2$)。従って図11.30より $h_1 \geq 0.4$ ではケース1、 $t_0=1$ の方法が最も経済的であるといえる。 $h_1 \leq 0.39$ ではケース3が有利となることはまずない。

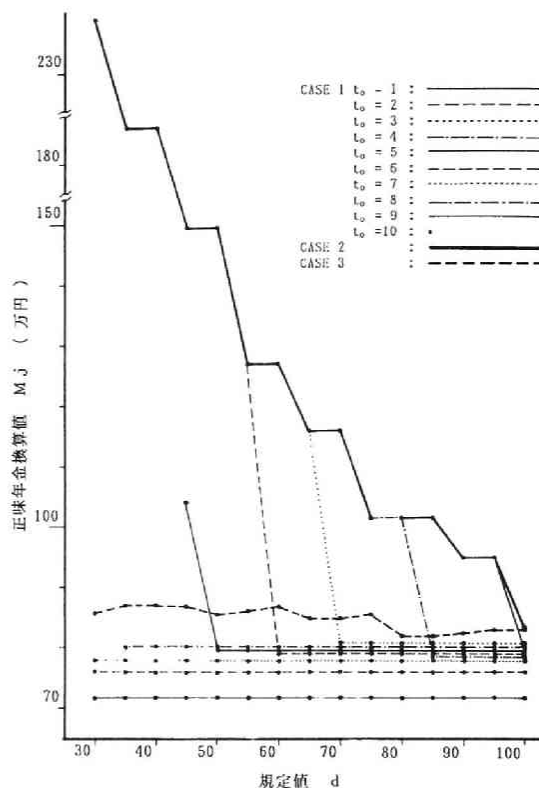


図11.29 維持保全費の変化(規定値)

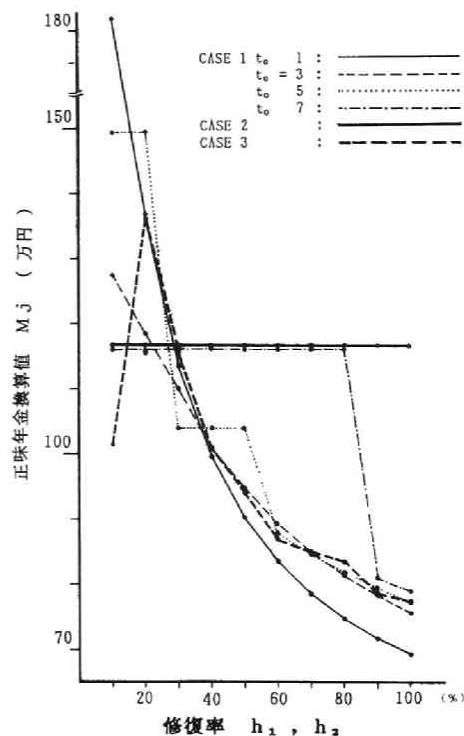


図11.30 維持保全費の変化(修復率)

全体としてケース1つまり「計画修繕」が有利な場合が多く、ごく稀にケース2，3の「非修繕取替」、「事後修繕」が有利となる。

11.4.3 改良型モデル

モデルの改良は次の四点について行った。

- (1) 計画修繕モデルの改良
- (2) 事後修繕モデルの改良
- (3) 劣化量と修繕費の関係のモデル化
- (4) 技術変化の考慮

(1) 計画修繕モデルの改良

計画修繕は「一定周期で修繕を行う。ただし、 n 回目と $(n+1)$ 回目の修繕との間で劣化量が規定値を越した場合、 n 回目は修繕を行わないで取替を行う。」となっているが、必ずしも規定値に達するまで修繕をくり返すことが最適な方法とは限らない。規定値に達するまでもなく、定期的に修繕と取替をくり返すことも考えられる(図11.31-1)。これを改良型計画修繕モデルとする。

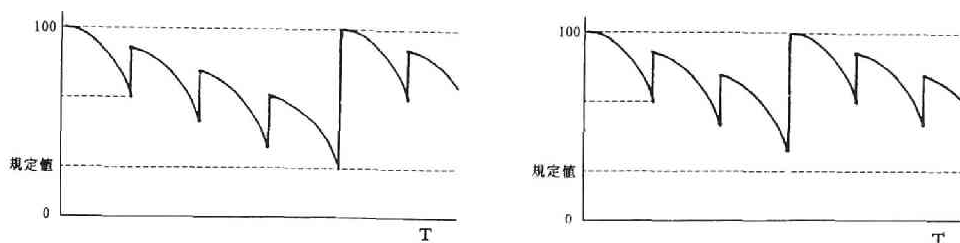


図11.31-1 計画修繕モデルと改良型計画修繕モデル

(2) 事後修繕モデルの改良

同様に事後修繕は「 t 年目と $(t+1)$ 年目の間で劣化量が規定値を越した場合、 $(t+1)$ 年目に修繕を行う。ただし、修繕を行っても1年未満で劣化量が規定値を越す場合は、取替を行う。」となっている。しかし事後修繕がくり返し実施された場合、取替が行われる直前では事後修繕の効果がそれほど大きくない。従って修繕をするよりも取替えた方が経済的に有利となる場合が存在する。ここでは当該事後修繕までの累積費用を次の事後修繕が必要となるまでの期間(プロジェクト当初からの累積年数)を使って正味年金換算値になおし、その値が最小となる事後修繕をくり返す方法を考える(図11.31-2)。これを改良型事後修繕モデルとする。

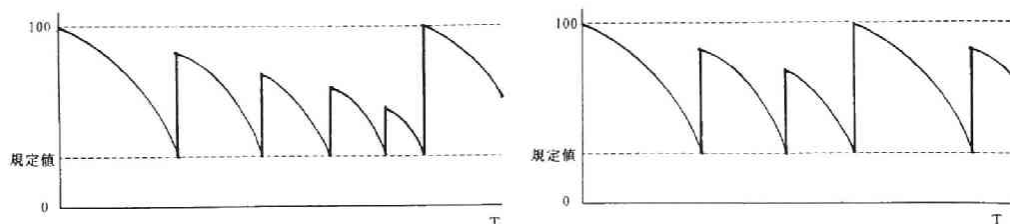


図 11. 31-2 事後修繕モデルと改良型事後修繕モデル

(3) 劣化量と修繕費の関係のモデル化

修繕費は劣化量に比例するとするが、修繕費を劣化量に関係しない部分（固定費的部分という）と比例する部分（変動費的部分という）に分けて考えられるようにした。つまり修繕費（ここでは純工事費に限定する）には共通仮設や仮設工事のうち修繕工事量の多少に関係しない部分などの固定費的部分と変動費的部分があり、図 11. 32 に示す例で劣化量との関係を示すと次のようである。

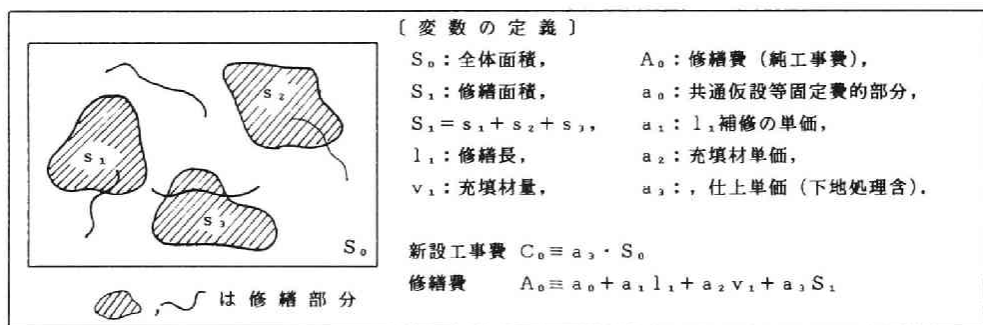


図 11. 32 修 繕 工 事 モ デ ル

今、修繕費の変動費的部分を VC 、固定費的部分を FC とし、新設工事単価に対する修繕工事単価の割増係数を Ma で表わすと、変動費的部分 VC は、

$$\begin{aligned}
 VC &= C_2 \cdot f(t) = Ma \cdot a_3 \cdot \frac{f(t)}{100} \cdot S_0 \\
 &= Ma \cdot \frac{f(t)}{100} \cdot C_0 \quad \dots\dots\dots (14)
 \end{aligned}$$

ここに C_2 : 修繕費係数

$$f(t) : t \text{ 時点での劣化量 } (f(t) = \frac{S_1}{S_0} \times 100)$$

固定費の部分FCは固定費係数 fix を用いて

$$FC = \text{fix} \cdot C_0 \quad \dots\dots\dots (15)$$

と表わせる。

一方、図11.32より新設工事費 C_0 、修繕費 A_0 は

$$\begin{aligned} C_0 &= a_3 \cdot S_0 \\ A_0 &= a_0 + a_1 l_1 + a_2 v_1 + a_3 S_1 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (16)$$

であるから(14)，(16)式より

$$Ma \frac{f(t)}{100} C_0 = (a_1 l_1 + a_2 v_1 + a_3 S_1)$$

ところで

$$\frac{f(t)}{100} C_0 = \frac{f(t)}{100} a_3 S_0 = a_3 S_1$$

と表せるから

$$Ma = \frac{(a_1 l_1 + a_2 v_1 + a_3 S_1)}{a_3 S_1} \quad \dots\dots\dots (17)$$

となる。一方(15)，(16)式より

$$\text{fix} = a_1 / C_0 = a_1 / a_3 S_0 \quad \dots\dots\dots (18)$$

いま、外壁補修、鉄部塗装について標準的仕様に基いて(17)，(18)式で表される Ma ， fix を求めると表11.7のようになる。

このようにして建築物の構成材は Ma ， fix 、劣化関数の形状によって特定することができる。

(4) 技術変化の考慮

技術変化によって修繕費等が変動する場合の考慮が可能とした。

表11.7
修繕単価割増係数及び固定費係数

| | | A 社 | B 社 | C 社 |
|------|-----|-------|-------|-------|
| 外壁補修 | Ma | — | 2.394 | 1.516 |
| | fix | — | 1.304 | 0.485 |
| 鉄部塗装 | Ma | 1.457 | 1.549 | 1.417 |
| | fix | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

11.4.4 変数の感度

数式モデルにとりこまれた変数が各々単独に変動したとき、目的関数の値がどの程度変化するかをみたのが表11.8である。ここでは各変数の設定値が1割変化したときの正味年金換算値の変動巾を表している。修繕の方法によって変数の感度の大きさは異なり、

・計画修繕の場合は①物理的耐用年数、②劣化関数の形状、③利子率、④修繕単価割増係数の順である。

・事後修繕では ①物理的耐用年数、②劣化関数の形状、③修復率、④規定値の順、

・改良型事後修繕 ①物理的耐用年数、②規定値、③利子率、④劣化関数の形状になっており、修復率の影響が小さくなっている。

いずれの場合でも物理的耐用年数の感度が最大である。

次に各関数がどの程度変化すれば、最適な修繕方法が異なるかをみたのが表11.8の右欄で、全体としては変数の値が1割も変化すれば最適な修繕方法は異なってくる。技術変化率が13割と大きいのは設定値を1%と低くしたことに起因する。なお改良型計画修繕は計画修繕よりも有利となることが表11.8の設定値の範囲ではなかったので除外している。

表11.8 変数の感度分析

| 変 数 名 | 設 定 値 | 新設定値 | 目的関数(正味年金換算値)の変化 | | | | 最 適 修 繕 方法の変化 |
|-----------|-------|------|------------------|-------|-------|-------|------------------|
| | | | 計画修繕 | 非修繕取替 | 事後修繕 | 改良型事後 | |
| 劣化関数の指数 | 1.3 | 1.17 | 3.57 | 0 | 8.65 | 2.28 | 1割 |
| 物理的耐用年数 | 15 | 13.5 | 4.14 | 11.58 | 10.24 | 8.28 | 2割 |
| 検 討 期 間 | 30 | 27 | -0.04 | 2.68 | -0.75 | 2.17 | 1割 |
| 規 定 値 | 50 | 45 | 0 | 0 | 4.50 | 4.63 | 3割 |
| 利 子 率 | 8.0 | 7.2 | -2.95 | -2.52 | -1.74 | -2.92 | 3割 |
| 技術変化率 | 1.0 | 0.9 | 0.35 | 0.58 | 0.60 | 0.35 | 13割 |
| 修繕単価割増係数 | 1.5 | 1.35 | -2.82 | 0 | -3.67 | -1.57 | 1割 |
| 固定費係数 | 2.0 | 1.8 | 0.11 | 9 | 0.10 | 0.04 | 1割 |
| 取替費割増率 | 0.2 | 0.18 | 0 | -0.78 | 0 | -0.22 | 1割 |
| 修復率(計画修繕) | 0.9 | 0.81 | 2.08 | 0 | 0 | 0 | 1割 |
| 修復率(事後修繕) | 0.7 | 0.63 | 0 | 0 | 7.90 | 0 | 変化せず |

11.5 シミュレーションの結果と考察

変数の感度、実際上の問題から構成材特定の三要素である劣化関数の形状、修繕単価割増係数、固定費係数及び規定値、技術変化の割合を操作変数としてシミュレーションした結果を示す。

まず技術変化を考慮せず、規定値等の変化による修繕方法の優劣をみたのが表11.9である。たとえば $fix=0.02, Ma=1.5$ を規定値30,50,70でみると、規定値30では最適な修繕方法は計画修繕でその修繕周期は4年とわかる。規定値50では最適な修繕方法は同じ計画修繕ではあるがその修繕周期は6年、同様に規定値70では修繕周期10年となる。表11.9より次のことがいえる。

①各規定値の計画修繕は修繕周期の最長のものが有利な方法となることが多く、 fix, Ma いずれも小さい場合に限って修繕周期が多少短いものが有利となる。

② Ma, fix 共に小さい時、計画修繕が有利であり、逆に Ma, fix 共に大きい時、非修繕取替が有利。

③計画修繕が改良型修繕より不利となるのは fix が一定程度大きくなった場合であり、一般には改良型が有利とはならない。

④改良型事後修繕はほとんどの場合、事後修繕に比べ有利である。

⑤規定値の増加は修繕方法の変化を伴うことが多い。規定値が小さい時計画修繕、大きくなると非修繕取替が有利となる。

⑥規定値、 Ma, fix の三変数を考慮した場合、すべてが小さい時計画修繕、逆に大きい時非修繕取替が有利となり、改良型事後修繕はその過渡的な状況といえる。

⑦外壁補修について表11.7、C社の値を使って具体的に検討すると、ホテル等外観を重視するため規定値を小さく設定するところでは改良型事後修繕がよく、外観にあまりこだわらない、あるいはがまん強く規定値を大きく設定するところでは非修繕取替、つまり部分的に小きざみに修繕するのではなく、全面修繕を一定期間でやればよい。

次に凹、凸面劣化関数、 $Ma=1.5$ の場合の各修繕方法の正味年金換算値を求め、それが fix の変化によってどう変化するかをみたのが図11.33～11.36である。さらに凸型の劣化関数について技術変化を加味したものが図11.37である。同図より次のことがいえる。

①凸型劣化関数では事後修繕が最適な修繕方法となることはなかったが、改良型事後修繕では規定値50の時、 $0.9 \geq fix \geq 0.04$ 、規定値30では一部例外を除いて $fix \geq 0.4$ の場合に

表11.9 修繕戦略優劣表

劣化関数の指数部 1.3

検討期間30年，物理的耐用年数15年

| 固定費係数 | STRATEGY | 修 繕 単 価 の 割 増 係 数 | | | | | | | | | | | |
|----------|----------|-------------------|--------|------|--------|----------------|----------------|------|--------|--------|--------|------|--------|
| | | 規定値 30 | | | | 規定値 50 | | | | 規定値 70 | | | |
| | | Ma=1 | Ma=1.5 | Ma=2 | Ma=2.5 | Ma=1 | Ma=1.5 | Ma=2 | Ma=2.5 | Ma=1 | Ma=1.5 | Ma=2 | Ma=2.5 |
| fix=0.00 | 計画修繕 | 4 | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 | 8 | 8 | 10 | 10 | 11 | 11 |
| | 取替 | | | | | | | | | | | | |
| | 事後修繕 | | | | | 2 | | | | 2 | | | |
| fix=0.02 | 計画修繕 | 4 | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 | 8 | 8 | 10 | 10 | 11 | 11 |
| | 取替 | | | | | | | | | | | | |
| | 事後修繕 | 2 | | | | | | | | | | | |
| fix=0.04 | 計画修繕 | 4 | 4 | 5 | 5 | 6 | 6 | 8 | 8 | 10 | 10 | 11 | 11 |
| | 取替 | | | | | | | | | | | | |
| | 事後修繕 | 2 | | | | | | | | | | | |
| fix=0.06 | 計画修繕 | 4 | 4 | 5 | 5 | 6 | 6 | 8 | 8 | 10 | 10 | 11 | 11 |
| | 取替 | | | | | | | | | | | | |
| | 事後修繕 | 2 | | | | | | | | | | | |
| fix=0.08 | 計画修繕 | 4 | 5 | 5 | 5 | 6 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 11 | 11 |
| | 取替 | | | | | | | | | | | | |
| | 事後修繕 | 2 | | | | | | | | | | | |
| fix=0.10 | 計画修繕 | 4 | 5 | 5 | 5 | 6 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 11 | 11 |
| | 取替 | | | | | | | | | | | | |
| | 事後修繕 | | | | | | | | | | | | |
| fix=0.20 | 計画修繕 | 5 | 5 | 5 | 5 | 8 | 8 | 8 | 8 | 10 | 11 | 11 | 11 |
| | 取替 | | | | | | | | | | | | |
| | 事後修繕 | | | | | | | | | | | | |
| fix=0.30 | 計画修繕 | 5 | 5 | 5 | 5 | 8 | 8 | 8 | 8 | 10 | 11 | 11 | 11 |
| | 取替 | | | | | | | | | | | | |
| | 事後修繕 | | | | | | | | | | | | |
| fix=0.40 | 計画修繕 | 5 | 5 | 5 | 5 | 8 | 8 ¹ | 8 | 8 | 10 | 11 | 11 | 11 |
| | 取替 | | | | | | | | | | | | |
| | 事後修繕 | | | | | | | | | | | | |
| fix=0.50 | 計画修繕 | 5 | 5 | 5 | 5 | 8 | 8 ¹ | 8 | 8 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| | 取替 | | | | | | | | | | | | |
| | 事後修繕 | | | | | | | | | | | | |
| fix=0.60 | 計画修繕 | 5 | 5 | 5 | 5 | 8 | 8 ¹ | 8 | 8 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| | 取替 | | | | | | | | | | | | |
| | 事後修繕 | | | | | | | | | | | | |
| fix=0.70 | 計画修繕 | 5 | 5 | 5 | 5 | 8 ¹ | 8 ¹ | 8 | 8 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| | 取替 | | | | | | | | | | | | |
| | 事後修繕 | | | | | | | | | | | | |
| fix=0.80 | 計画修繕 | 5 | 5 | 5 | 5 | 8 ¹ | 8 ¹ | 8 | 8 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| | 取替 | | | | | | | | | | | | |
| | 事後修繕 | | | | | | | | | | | | |
| fix=0.90 | 計画修繕 | 5 | 5 | 5 | 5 | 8 ¹ | 8 ¹ | 8 | 8 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| | 取替 | | | | | | | | | | | | |
| | 事後修繕 | | | | | | | | | | | | |
| fix=1.00 | 計画修繕 | 5 | 5 | 5 | 5 | 8 ¹ | 8 ¹ | 8 | 8 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| | 取替 | | | | | | | | | | | | |
| | 事後修繕 | | | | | | | | | | | | |

注) 部分は最適修繕方法であることを表す

計画修繕の欄の数字は最適修繕周期を表す

添字1は改良型計画修繕（規定値50, Ma=1, 1.5，規定値70, Ma=1の場合のみ改良型を検討）を表す

添字2は改良型事後修繕でないものを表す

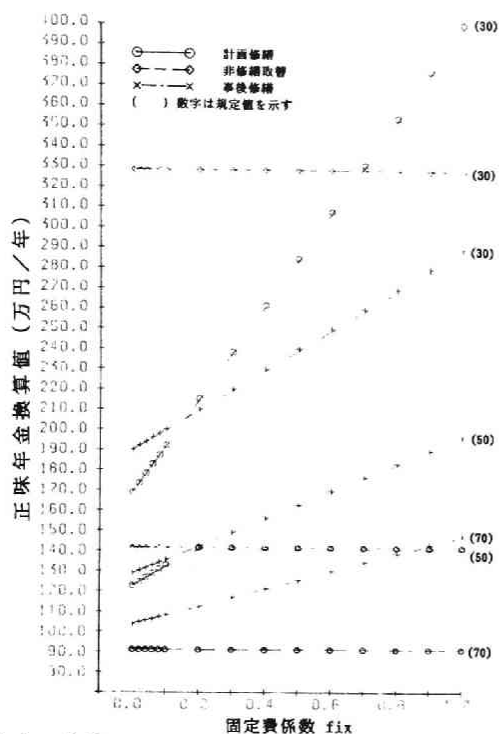


図 11. 33
固定費係数の変化による正味年金換算値の変動
($Ma=1.5, k_2=0.7$)

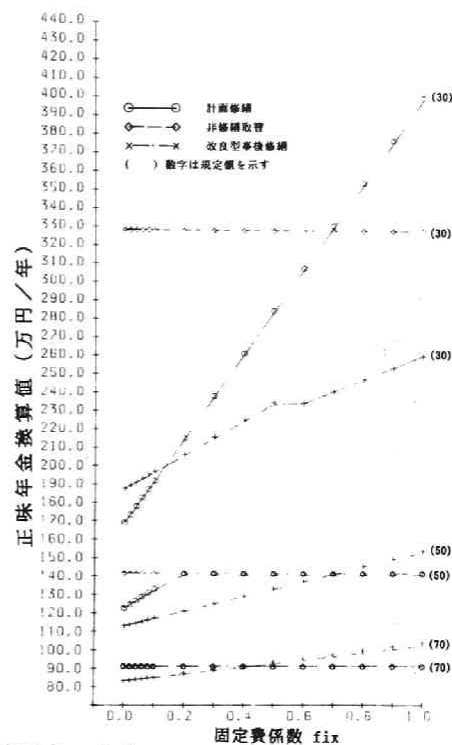


図 11. 34
固定費係数の変化による正味年金換算値の変動
($Ma=1.5, k_2=0.7$, 改良型事後修繕)

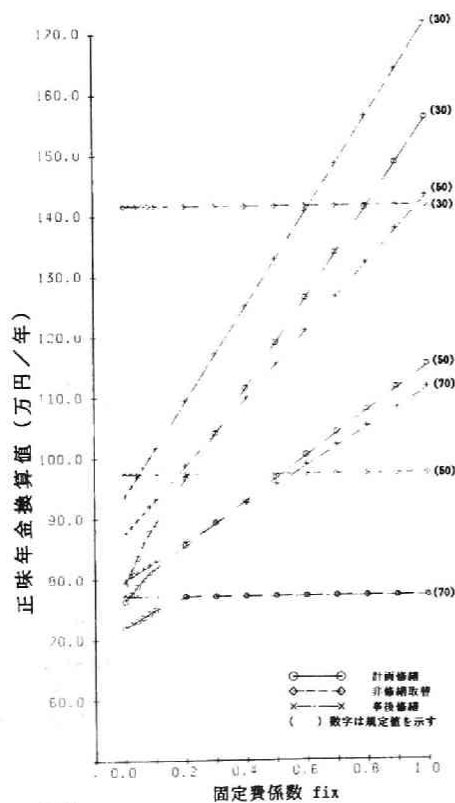


図 11. 35
固定費係数の変化による正味年金換算値の変動
($Ma=1.5, k_2=1.3$)

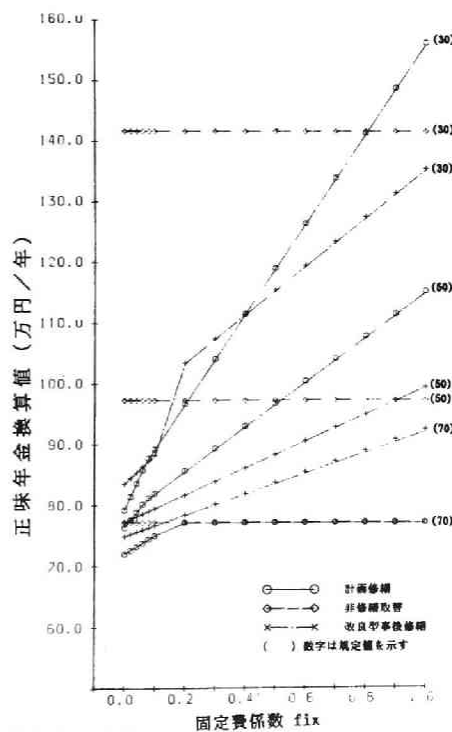


図 11. 36
固定費係数の変化による正味年金換算値の変動
($Ma=1.5, k_2=1.3$, 改良型事後修繕)

最適な修繕方法となる。

②凹型では規定値50の時 $fix \leq 0.7$, 規定値70の時 $fix \leq 0.4$ の場合に改良型事後修繕が最適な修繕方法となる。

③当然のことながらいずれの劣化関数にせよ、計画修繕、改良型事後修繕それぞれの正味年金換算値の曲線は右上りであり、非修繕取替は一定である。従って fix の増加とともにいずれは非修繕取替が最適な修繕方法となる。

④技術変化を加味すれば各修繕方法の正味年金換算値の差を縮小する効果があり、従って右上り曲線の勾配も緩くなる。しかし最適な修繕方法が技術変化の加味によって異なることは少ない。図11.37では規定値30の場合に限って一部に最適な修繕方法の変化が

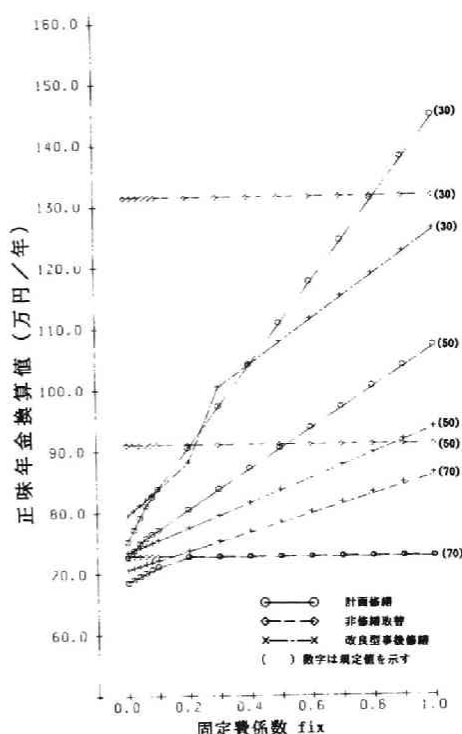


図11.37

固定費係数の変化による正味年金換算値の変動
($Ma=1.5, k_2=1.3$, 改良型事後修繕, 技術変化1%)

このような検討をふまえて、現実の修繕計画は立案される。しかしながら物理的な耐用年数 (T_0)、検討期間 (T) は不確実な要因に左右され、当初の計画とは異なる場合が少なくない。そこで当初に設定した修繕計画に基づいて修繕をした場合、 T_0, T が変更されることによってどの程度の影響をうけるかをみる。

いま仮に劣化関数 $f(t) = 2.95t^{1.3}$, 規定値50, $Ma=1.5$, $fix=0.02$ とし $T=30$ と設定した場合の最適な修繕方法は表11.9より計画修繕、修繕周期6年とわかる。この方法で修繕を行うとして、 T_0 が $10 \leq T_0 \leq 20$, T が $20 \leq T \leq 40$ の間を変動すると図11.38ようになる。但し $T_0=10$ の場合、6年毎の計画修繕は成立しないのでこの場合のみ修繕周期を5年とした。図中太い実線は $T_0=15$ 年とし、検討期間を20~40年の間を変動させ、各期間の最適修繕方法をとった時の値である。この現実的な状況は建築物の構成材の物理的耐用年数は15年とわかっているが、建物全体としては20年でこわされるのか、30年か、それとも40年かわからないといった場合である。この最適修繕方法と6年毎の計画修繕との正味年金換算値の差(劣性度という)は最大で6%程度であり、当初の検

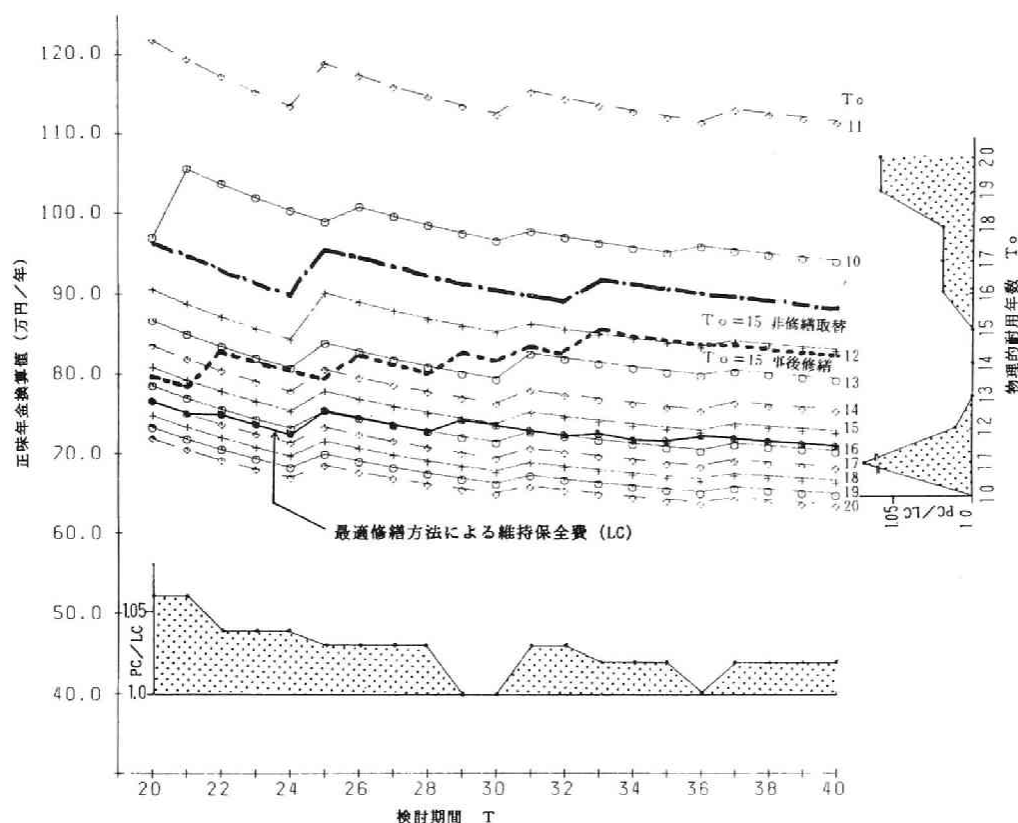


図 11.38 凸型劣化関数における計画修繕(PC)と最適修繕方法による維持保全費用(LC)

討期間が仮に大幅にずれたものとしてもその場合の修繕方法間の優劣はさほど気にならないと考えられる。一方検討期間は $T=30$ 年として変化させず、 T_0 を 10～20 年と変動させ、各耐用年数での最適な修繕方法を考える。これは建物全体としては 30 年で解体することが決定しているが、構成材の物理的耐用年数はほぼ 15 年で場合によっては 10 年や 20 年もありうるといった場合である。この時の劣性度はやはり 6 % 程度以下と小さい。ただし、 $T_0=11$ 年の場合のみ大きな値になっているが、これは 6 年毎の計画修繕がモデル上で取替となっているがためである。

11.6 適用例

本モデルを鉄部塗装に適用した。ここに $M a=1.5$, $fix=0$ (表 11.7)、鉄部塗装の劣化関数 $f(t)=3.37t^{1.31}$ (* 13) とした。この最適修繕方法は図 11.39 のとおり。この図より以下の結論を得る。

- ①維持水準を高く設定する主体(規定値30)では3年毎の計画修繕、低い主体(規定値

| | | 修繕単価の劣化係数 (K=1.5) | | |
|----------|-------|-------------------|----------------|----|
| 固定費係数 | | 規定値 | | |
| STRATEGY | 計画修繕 | 30 | 50 | 70 |
| | 非修繕取替 | 8 | 6 | 8 |
| fix=0.00 | 改良型事後 | | | |
| | 計画修繕 | 3 | 6 | 10 |
| fix=0.02 | 非修繕取替 | | | |
| | 改良型事後 | | | |
| fix=0.04 | 計画修繕 | 3 | 6 | 10 |
| | 非修繕取替 | | | |
| fix=0.06 | 改良型事後 | | | |
| | 計画修繕 | 3 | 6 | 10 |
| fix=0.08 | 非修繕取替 | | | |
| | 改良型事後 | | | |
| fix=0.10 | 計画修繕 | 4 | 6 | 10 |
| | 非修繕取替 | | | |
| fix=0.20 | 改良型事後 | | | |
| | 計画修繕 | 4 | 6 | 10 |
| fix=0.30 | 非修繕取替 | | | |
| | 改良型事後 | | | |
| fix=0.40 | 計画修繕 | 4 ¹ | 7 ¹ | 10 |
| | 非修繕取替 | | | |
| fix=0.50 | 改良型事後 | | | |
| | 計画修繕 | 4 ¹ | 7 ¹ | 10 |
| fix=0.60 | 非修繕取替 | | | |
| | 改良型事後 | | | |
| fix=0.70 | 計画修繕 | 5 | 7 ¹ | 10 |
| | 非修繕取替 | | | |
| fix=0.80 | 改良型事後 | | | |
| | 計画修繕 | 5 | 7 ¹ | 10 |
| fix=0.90 | 非修繕取替 | | | |
| | 改良型事後 | | | |
| fix=1.00 | 計画修繕 | 5 | 7 ¹ | 10 |
| | 非修繕取替 | | | |

注) 部分最適修繕方法であることを表す
計画修繕の欄の数字は最適な修繕間隔を表す
数字1は改良型計画修繕を表す
改良型事後は改良型事後修繕を表す

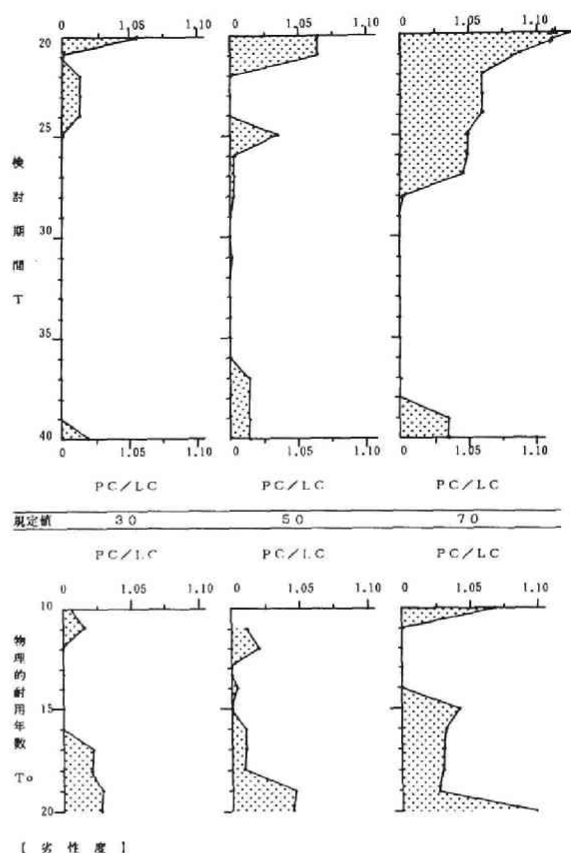


図11.39 鉄部塗装の戦略表と劣性度

70) では19年毎 (その間を11年で修繕) に取替るのがよい。

② T, T₀の変動に対し劣性度は変化するがその割合は数%と低い。

③ 当初に修繕計画をたてず成行きまかせで取替、もしくは事後修繕をする場合と最適修繕方法との差は規定値30で前者が 67.4%、後者が 21.7%。一方規定値70では前者が 0.2%、後者が 12.5%。端的には維持水準を高く設定する場合、より計画的でなければならない。

11.7 まとめ

本章で得た知見をまとめると次のとおり。

(1) 建物のライフサイクル設計における2nd方式は建築物各部位の耐用年数の組合せを

11.2.1でみた2nd方式改良型のシミュレーション・モデルのようにとれば理念上合理的といえる。実態上二つの点で疑問が残る。一つは耐用年数がそれほど操作的に短縮もしくは延長できるかどうか、二つは仮に技術的に可能とした場合経済的に達成できるか否か。

(2) 11.2.2のモデル試算例でいえば耐用年数を25年から50年に延長するにせよ、初期建設費を増加させることが可能な範囲は1.1倍までである。同様に10年から50年に延長した場合で2.1倍程度である。

(3) いずれにせよ11.2節のモデルは定期的に一定量の修繕がくり返され、それが物理的な量ではなく金額として表現されることを前提としている。端的に言えば修繕方法の概略は所与としている。しかし経済性の点で最適な修繕方法は必ずしも一定周期で実施される修繕とは限らず、修繕周期、修繕率などを理論的に求める方法論の確立が必要である。さらに修繕方法、タイミング、建築物各部位のは耐久性のみならず、経営主体の管理水準、居住者の要求水準によって異なる。この点の考慮も必要である。

(4) 修繕過程の数理モデルは11.4節の表11.5に示す変数、物理的耐用年数、検討期間、劣化量の規定値などを使って作成することができた。また修繕工事の数理モデルは M_a (新設工事単価に対する修繕工事単価の割増係数)、 fix (固定費係数)、劣化関数を用いて作成することができた。

(5) このモデルによれば経済性の点で各種の修繕方法の優劣が物理的耐用年数、検討期間、規定値、劣化関数の形状によってどの程度異なるかがわかる。

(6) 修繕の方法によって変数の感度は異なる。本モデルの設定値でみると計画修繕の場合は①物理的耐用年数、②劣化関数の形状、③利子率、④修繕単価割増係数の順である。事後修繕では①物理的耐用年数、②劣化関数の形状、③修復率、④規定値の順である。これが改良型事後修繕になると、①物理的耐用年数、②規定値、③利子率、④劣化関数の形状になっており、修復率の影響が小さくなっている。いずれの場合でも物理的耐用年数の感度が最大である。最適な修繕方法は変数の値が1割も変化すれば異なってくる。

(7) シミュレーション結果によれば次のことが判明している。

①一般に計画修繕が有利とされているが修繕単価割増係数、固定費係数のあり様によっては改良型事後修繕が有利となる。

②技術変化を加味すれば主として各修繕方法の正味年金換算値の差を縮小する効果があるが、その比率が低い限り修繕方法を変えるほどの影響は及ぼさない。

③本モデルにより当初設定した最適修繕方法での正味年金換算値は途中何らかの理由で検討期間、物理的耐用年数がずれた場合の最適修繕方法のそれに比べ、その差の最大は6%程度である。

(8) ここに必要とする情報は基本設計プロセスにおいて十分に入手可能なものである。従って本モデルを基本設計プロセスで利用することによって建築物構成材の代替案のうちライフサイクルコストを最小化する構成材を選択することができ、同時にその場合の最適修繕方法をも決定することができる。

参 考 文 献

- * 1) 古阪秀三：修繕過程のモデル化に関する研究（１），日本建築学会近畿支部研究報告集，第24号計画系，1984.6
- * 2) 古阪秀三：修繕過程のモデル化に関する研究（２），日本建築学会近畿支部研究報告集，第25号計画系，1985.5
- * 3) 古阪、古川他：修繕過程のモデル，修繕計画の計量的方法に関する研究（１），日本建築学会大会学術講演梗概集，1984.10
- * 4) 古阪、古川他：修繕過程のモデルの改良と適用例，修繕計画の計量的方法に関する研究（２），日本建築学会大会学術講演梗概集，1985.10
- * 5) 古阪、古川他：建築プロジェクトの最適化問題の考え方，第1回“建築生産と管理技術”シンポジウム論文集，日本建築学会、1985.7
- * 6) 日本電信電話公社：建物等修繕の手引，1983
- * 7) 小原誠：建物のライフサイクル設計の一提案，建築雑誌 vol.97，pp.114～116，日本建築学会，1982.8
- * 8) 千住、伏見：設備投資計画法，pp.82～87，日科技連出版社，1979.3
- * 9) 前出 8) pp.148
- * 10) 『建設省建築研究所：保全・耐久性向上技術の評価手法の開発，建設省建築研究所，1985.3』のうち筆者担当部分を利用
- * 11) 建設省建築研究所：保全・耐久性向上技術の評価手法の開発，建設省建築研究所，1984.3
- * 12) 日本電信電話公社：電気通信技術標準実施方法R10.10，日本電信電話公社
- * 13) 飯塚裕：建物の維持管理，鹿島出版会，1979

結 論

第12章 結論

建築生産は設計と施工が異なる主体で行われることが通常で、集合住宅プロジェクトもその例外ではない。しかも情報流通は設計から施工への一方交通型に近い。すなわち設計は施工段階以降の技術的、経済的情報が十分には入手できず、施工段階以降の考慮が不十分な状態で物的設計を行い、施工はそうにして決定された設計図、仕様書、工期を制約条件として最適化をはかる。設計、施工それぞれの部分での最適化である。一方、建築物の諸機能を満足させる物的設計はいくとおりかの代替的方法がある。また物的設計を実体化するための施工法にもいくとおりもの代替的方法がある。しかもプロジェクトは多様、多目的化している。

このような状況では次の諸点が予想される。

- ・ 設計、施工とも意思決定に要する情報は網羅的ではない。
- ・ 施工側では設計側から最適化にとって必要以上の制約をうける。
- ・ 論理的な代替案の発掘になっていないため、代替案は網羅的でなく、限定的となる。
- ・ 限定的な代替案の中での選択も、問題の目的、制約が明確に記述できないため、合理的な方法とはなっていない。
- ・ 従って意思決定は部分的にせよ合理的に最適解に至ることになっておらず、経験と遠観に依存した満足化に止まる。ましてや設計と施工を統合した全体の整合的な最適化とはなっていない。

そこで本研究では集合住宅プロジェクトの最適化に整合的に至る論理的手段を提供することを目的として、部分最適化の方法を確立し、それらを利用しつつ意思決定者が経験と遠観を加味して全体の最適化に接近する方法を提案することとする。

まず設計を生産物そのものの設計（物的設計）と生産行為の設計（計画）に分け、後者つまり物的設計の実現可能性を技術、経済性の点で保証し、最適化に近づける計画を扱うこととした。具体的には、①検討中のプロジェクトがどの程度の工事費で建設可能か（工事費計画）、②その場合どんな施工方法で工事をするのがよいか（施工計画）、③それは生涯費用（ライフサイクルコスト）の観点でも妥当か（維持保全計画）、の三つをとりあげ、各計画自体の最適化とプロジェクト全体の最適化を基本設計プロセスで整合的に、論理的に達成する方法を提案する。

基本設計プロセスでの最適化をとりあげるのは、企画プロセスではプロジェクトが検討

に十分な程度に物的な形をとっておらず、工事費計画、施工計画、維持保全計画の概略の検討が一定程度困難であること、実施設計プロセスではプロジェクトの細部が確定されるため、個別にはより詳細な検討、最適化がはかられるが、全体としての検討が困難になることによる。

基本設計プロセスでのプロジェクト最適化方法を確認するために二つのアプローチを考えた。一つは集合住宅プロジェクトの計画、意思決定の実態から検討内容、決定過程、結果を明らかにすること。二つはそれらのうち可能な部分を論理的にし、その範囲で合理的に最適解に達する方法を開発すること、残余の部分は意思決定者の経験と達観を利用して全体の最適化に近づくことが可能な計画システムを構築すること。具体的には、

①基本設計プロセスではプロジェクトの概略が決定される。しかし基本設計プロセスで現在概略計画されている工事費計画、施工計画、維持保全計画策定の論理構成は明確ではなく、満足化に止まっている。そこで建築生産プロセスのそれぞれのプロセスでの実際の計画、決定問題を分析することによってその内部に含まれる施工方法、維持保全方法等の選択、決定過程を明らかにする。

②各プロセスで明らかにされた計画、決定過程を論理的に組み立て、その部分での最適化に合理的に達する計画システムと、この計画システムを基本設計プロセスで入手可能な情報に合わせて概略計画用に利用し、プロジェクトの最適化のために初期の段階から物的設計を支援するシステムを構築する。

本論文第Ⅰ編が①に、第Ⅱ編が②に相当する。

以下各章の内容と結論をまとめる。

まず第Ⅰ編第2章では集合住宅プロジェクトの最適化の方法を議論する場合の関連する事項の定義をし、具体的な決定問題の実態をいかなる観点、方法でもって分析するかの方針を明らかにし、問題の構造化の概念を示した。

第3章以降にとりあげたプロジェクトは一例を除き、設計施工一貫方式で実施されたものである。設計施工一貫方式をとりあげた理由は同方式が分離方式に比べ、設計と施工がより緊密に結びついており、工事費計画、施工計画などの支援が得られやすいと目され、一般にもそう評価されていることによる。

第3章は企画・設計段階での決定問題の実態を扱った。

まず3.1節では集合住宅プロジェクトが設計施工競技方式で実施された事例における

応募案作成段階での物的設計、価格、生産システムの決定問題、3.2節ではその応募案が現実の実施案として確定されていく過程の決定問題を扱った。同方式は物的設計、価格、生産システムの整合性が典型的に表われる例と目されたが、現実には基本設計プロセスにおいて物的設計と価格、物的設計と生産システムが個々独立に決定された。実施設計プロセスでは物的設計、価格、生産システムがより現実化、詳細化され、相互の整合性の確保が必要であるが、実態は基本設計プロセスの不整合をそのまま引きついだものとなっていることを明らかにした。この背景を工事費が短期間に合理的に算出できるシステム、概略の施工計画を論理的に立案できるシステムの欠如であると指摘した。

3.3節では設計施工一貫方式において設計図、仕様書、施工計画が確定されていく問題を取りあげた。プロジェクトの特徴を継続性要因と一貫性要因に分類し検討した結果、基本設計プロセスでの施工計画情報の先取りの現実、継続的プロジェクトに一定程度みることができ、本来設計施工一貫方式に有すると目されていた設計と施工の統合の可能性は継続的プロジェクトにおいてそうであることを明らかにした。反面、設計のコストバランスは通常の設計と施工が分離したプロジェクトと比較して、仕上、設備面にウェイトが高く、必ずしも適正なコストバランスといえない。基本設計プロセスからコストバランスを考慮した工事費計画の支援システムが必要であることを指摘した。

以上のように設計と施工が組織的に同一のプロジェクトにおいても物的設計、価格、生産システムの整合性は十分ではなく、物的設計を支援するこれら計画システムの構築が必要であることを指摘した。

第4章は施工段階での決定問題の実態を扱った。

4.1節では大規模集合住宅プロジェクトの工期決定問題を契約工期決定の問題、技術的、経済的工期決定の問題に分解し、さらに後者の問題では揚重用クレーンを中心とした工程計画問題を取りあげ、その間に存在してしかるべき論理的手順の解明を試みた。契約工期は技術的、経済的根拠が欠如した状態で決定され、実際の施工段階で技術的、経済的な工期を契約工期内で自由に決定する必要性、あるいは自由に決定する可能性がある。その過程は契約と施工計画の関係において契約工期追従型で、一種の満足化で終わっていることを明らかにした。しかし施工計画立案の過程は比較的明確になっており、その計画システムの構築が可能である。

4.2節ではPCa板製造の現場サイト工場の生産計画と施工計画との関係についてメ

ーカー型生産計画と比較しながら、その違いについて論じた。いずれの場合でも基本設計プロセスで部品の生産、供給が考慮されることはまずない。しかしプロジェクト全体の整合的最適化のためには全体工程計画を技術的に支え、経済性を獲得するための主要部品の生産、供給問題が工期の検討と併行して立案される必要があり、P C a板サイト工場を例に全体工程との同調性、在庫量の多寡と工場撤去時期による経済性の検討をいくつかのパラメータの下で試みた。その結果、当該プロジェクトの場合、在庫量が増加しても工場撤去時期を早めた方が経済的に有利であったことを明らかにした。

4. 3節では個別、具体的な施工計画の例として内装プレハブ工事の工数計画問題を取りあげ、新規性の強い工事では工期、工事費の決定に影響を及ぼすこと、その場合基本設計プロセスでの設計、仕様決定時に概略にせよ工数計画が必要であることを明らかにしている。

4. 4節では内装プレハブ工事の施工体制決定問題を分析し、その特徴を具体的な目標が明確に設定できない問題とし、ソフトシステムズアプローチの適用の可能性を指摘した。

4. 5節では設計変更問題を取りあげ、施工段階で設計が問題となるのは設計変更の形で表われるとの立場から分析している。設計変更の内容は受注者事由が大半で一面では設計施工一貫の有利さが表われているが、反面〈施工上〉、〈検討不足〉を理由にした内容が多い点で基本設計プロセスでの後工程情報の先取りが必ずしも十分でなかったことを明らかにした。

以上施工段階の決定問題は考慮すべき要因が多く、必要な情報と代替案を網羅することが困難で、経験と達観に依存した決定が多い。しかし、部分的であるにせよ、施工段階の決定問題には本来基本設計プロセスから概略は計画すべきことが多く、決定過程の論理化によって基本設計プロセスでの計画システムを構築することが必要であることを指摘した。

第5章は維持保全段階の決定問題を扱った。集合住宅の維持保全が問題になりだしたのはごく最近のことである。従って現在のところ基本設計プロセスで維持保全計画を検討しているところはまれである。そのためプロジェクトが竣工し、維持保全が現実的に問題となる段階の決定問題を分析した。

維持保全段階で計画される修繕計画の基準は経験と達観に依存しており、計画修繕の実態は計画どおりに実施されていないことを明らかにしている。計画修繕の方法は建築物の使用年数、経営主体の管理水準、居住者の要求水準によって異なり、これらを基本設計プ

プロセスにおいて設計、仕様の決定時に概略考慮した維持保全計画が論理的に立案でき、経済性の検討、代替案との比較が可能な計画システムが必要であることを指摘した。

第6章は第Ⅰ編のまとめで、建築生産プロセスの決定問題の分析から

- ・部分的にせよ、論理的に最適解に達する決定は少なく、満足化に止まっている。
- ・工事費計画、施工計画、維持保全計画の相互関連性は十分には把握されておらず、整合性に欠ける。
- ・企画、基本設計プロセスから維持保全プロセスへとプロセスが進行する中で各計画が概略から詳細化される階層性を有することが明確になっていない。

ことを明らかにした。同時に決定過程の詳細な分析から決定過程の論理構成の一部とそれに必要な情報が明確となった。

以上の分析から最適化に必要な条件として①論理化、②主要な機能、③最適化原理について論じている。

- ①意思決定過程は論理的な部分と論理的でない部分が存在する。さらに論理的な部分はルール化、プログラム化される部分とそうでない部分が存在する。論理的でない部分を論理化し、さらにルール化、プログラム化を指向しなければならない。
- ②最適化に必要な機能は二つある。第1は当該プロジェクトの情報の先取り、つまり基本設計プロセスで工事費計画、施工計画、維持保全計画の概略をたて、先行的分析を行ってその情報を当該プロジェクトの物的設計に利用することができる機能。第2は工事費計画、施工計画、維持保全計画を中心とする主要な部分計画システムを整合的に統合する機能。
- ③実際のプロジェクトでは発生型の問題が多く、設定型は少ない。発生型の場合、現状が目標に達しないか、目標から現状が逸脱しない限り問題とはならない。端的には満足化はするが、最適化はしない。仮に最適化しようにも検討すべき諸要素と諸関係が多すぎ、最適化の方法を持ち合わせていない。これら部分の満足化問題を最適化問題として検討するためのルール化、プログラム化が必要である。

以上第Ⅰ編では集合住宅プロジェクトにおける決定問題の実態について論述した。基本設計プロセスにおいて概略にせよ検討すべき計画、問題は多いが、目的が多目的で、情報が網羅的でないこと、従って代替案を網羅することができないこと、限定的な代替案に

せよ合理的に最適解に近づく方法論を持っていないことから、多くは経験と達観に依存している。結果的に必ずしも最適化になっておらず、満足化に止まっていることを明らかにした。従って、プロジェクトの整合的最適化のためには基本設計プロセスで物的設計が行われることに併行して物的設計の技術的、経済的実現可能性を裏づける計画が検討でき、合理的に最適化可能な方法論が開発されねばならない。しかしプロジェクトの有する多目的性、相互連関性、階層性から一気に全体の最適化をめざすことには相当程度困難で、当面は現在部分的な満足化問題と観念しているものを最適化問題として検討するための現状改良型のルール化、プログラム化が必要であると指摘した。

第Ⅱ編ではそれらをふまえて、物的設計を支援する工事費概算（工事費計画システム）、つくり方の最適化（施工計画システム）、保全の最適化（維持保全システム）の三つの計画システムを開発、提案した。

まず第7章では集合住宅プロジェクトの最適化方法について総論的に論述した。

7. 2 節では最適化の方法論上の問題を、多目的な計画問題の処理、過程の合理性、物的設計支援の重要性の点で考察した。具体的には、

- ・集合住宅プロジェクトは多目的システムであり、そこには多目的性と多階層性の二つの特徴がある。しかし、部分システム相互、全体システムと部分システム間の相互干渉が十分には把握されておらず、システム方程式、制約条件式を書くことができないため、現実のプロジェクトの定式化には未だに無理がある。従って本論文ではプロジェクトの最適化をコスト最小化に限定し、全体の最適化を一定の制約条件下での部分システムのコスト最小化問題におきかえることを提案し、各部分システムで最小化されたものの総合化は各部分システムと意思決定者が対話的に行うこととした。
- ・集合住宅プロジェクトの最適化方法は使用した原理、手段、情報等が論理的である過程の合理性が求められる。「何が決定されたか」が重要ではなく「いかに決定されたか」が重要であることを指摘した。
- ・最適化はプロジェクトの初期の段階から追求されるべきで、またその場合により大きな成果をあげることが可能である。ここに基本設計プロセスで最適化を追求することを可能とする物的設計支援の計画システムの必要性がある。この点について設計過程を吸収マルコフ過程としてとらえ、計画システム支援の多寡によって設計解に至る推

移をモデル的に検討し、適切な計画システムの支援があれば設計解に早く到達することを明らかにした。

7. 3節では本論文にいう基本設計プロセスでの最適化方法の具体的内容を明らかにしている。

- ・具体的に最適化方法を検討する場合、建築生産プロセスの全体についてその業務内容を明確にすることが前提となる。ところが一般的に業務内容に関して合意されたものはない。そこに留意して業務内容について新しく整理した。
- ・工事費計画、施工計画、維持保全計画それぞれの内容を詳細に検討し、それらの相互連関を明らかにし、しかも企画、基本設計、実施設計へとプロセスが進行するにつれ、計画内容は概略から詳細化する階層的構造を有することを明らかにしている。さらに各プロセスの整合的最適化には情報を利用するシステムと情報をつくり出すシステムが必要であることを指摘し、その内容について詳述した。次にこれら二つのシステムに支えられた基本設計プロセスの最適化方法を設計者もしくは設計チームが物的設計を確定していく過程で実行可能性と経済性の点で支援できるシステムとしてシステムフローを示した。
- ・最後にプロジェクトの最適化をコスト最小化に限定し、全体の最適化を一定の制約条件下での部分システムのコスト最小化問題におきかえ、各部分システムで最小化されたものの総合化はインタラクティブな手段で意思決定者の判断的局面、経験と達観を利用して行うことを明確にした。その上で第8章～第11章の部分最適化問題の位置づけを行った。

第8章では工事費計画の最適化のための工事費概算システムを開発し、基本設計プロセスで設計者が各種の建物形状、規模の設計案を作成するのに対して、タイムリーに概算数量が算出できるようにし、経済性の面での設計支援をはかる方法を示し、実証的に検討した。具体的内容を以下に摘記する。

- ・設計プロセスと概算の関係を考察し、既存の概算法を整理した。
- ・本概算法の特徴は躯体数量概算に限定していること、型枠・鉄筋・鉄骨量をコンクリート量を介して概算することにあり、その妥当性を明らかにした。
- ・既存研究における概算誤差の扱いは非論理的であり、本研究で新たに検討した。つまり部分分割と誤差率の関係を誤差伝播の法則から論述し、誤差の問題が正確に扱える

ようにした。

- ・重回帰分析による概算モデルを構築、提案した。分析には段階的手法を使った。
- ・概算モデルの算出結果の誤差率の判定基準を明確にし、目標誤差率に論理的に達する方法を提案した。
- ・モデルの適用範囲と適用例を示し、全体としては単回帰モデルよりも精度はよくなるが、必ずしもすべてが目標誤差率（本論文では7%）を満足するには至っていないことを明確にした。
- ・従って改善の余地があり、二つの方法を提案した。一つは誤差の大きい部分を細分化し、重回帰モデルを詳細化する方法、二つは建築物のグルーピングをクラスター分析を利用して論理的に行う方法。
- ・いずれの改善方法も精度の向上に有効であるが、クラスター分析を使った方法では、特に鉄骨量に精度の向上がみられることを明らかにした。
- ・現実のプロジェクトに適用し、その有効性、妥当性を検証した。

第9章、第10章では基本設計プロセスでの概略施工計画の最適化の問題として工事、工程計画の主要部分である揚重計画を取りあげた。

第9章では超高層プロジェクトに代表されるような建築物としては1棟でありながら、その建築面積、高さ等規模の大きいものを取りあげ、揚重用クレーンの最適配置決定モデルを提案した。具体的内容を摘記する。

- ・クレーンの配置計画を論理的に行うために検討すべき点を明らかにした。
- ・それを使って配置計画モデルの前提、制約条件を明確に定義した。
- ・揚重用クレーンの施工能力は機種により異なり、又、移動式と定置式ではその判定基準が異なる。そこで施工能力の判定を論理的に実行できるアルゴリズムを提案した。
- ・配置計画にはいくつかの制約条件、たとえばクレーンが設置できない地域、複数のクレーンでカバーされていなければならない地域等があり、それらを定式化した。
- ・モデルの目的関数を機械経費の最小化とし、0-1整数計画問題として定式化した。
- ・多くの制約条件式を伴った0-1整数計画問題は一般的にはimplicit enumeration method によって解くことができるが、効率的に解を求めるために二つの方法を提案した。一つは特定条件下で集合被覆問題の縮小方法を援用した問題の縮小、二つは実行不可能な解の事前チェックである。

- ・このようにして各階で揚重用クレーンの最適組合せを求めた後、最下階から最上階まで建設可能で、機械経費を最小化する揚重用クレーンの配置計画を立案するモデルを離散型DP問題として定式化した。
- ・モデル現場に適用し、従来の経験と達観による配置計画に比べ、機械経費の点で相当程度有利な配置計画案が合理的に作成できることを明らかにし、このモデルの妥当性と有効性を実証した。

第10章では団地建設にみられるような、集合住宅を多数同時に施工するといった面的広がりを持ったプロジェクトへの資源配分をクレーン配置計画問題を例に論述し、その最適配置決定モデルを提案した。具体的内容を摘記する。

- ・「 n 棟建設現場で、契約工期を厳守し、クレーンの機械経費の最小化を達成するためには、どの機種のカレーンを何台投入し、どのように施工すればよいか。」
この種の問題を定量的に扱う手法にはスケジューリング、PERTがあるが、本問題には適用できないことを指摘し、その解法（配置計画モデル）は新たに開発せざるを得ないことを明確にした。
- ・配置計画モデルは二つの部分から構成されている。第一は設計条件、施工条件を考慮して、システム・シミュレーションによって利用可能なクレーンとその施工方法の組合せから実行可能な代替案を作成する。これは「 n 棟建設時に m 台のカレーンを投入した場合の最適施工法を求める問題（ n/m ジョブ問題）」である。この問題を解くために n （ $1 \sim n$ ）、 m （ $1 \sim m$ ）の組合せ、及び施工法の種類によって代替案を作成し、システム・シミュレーションによって各ジョブ問題別に最適施工法を決定する方法を提案した。第二は、各ジョブ問題、クレーン種類別に用意された代替案の中から契約工期内に納まり、且つクレーンの機械経費が最小となる代替案群の組合せを求め、概略工事計画とクレーン山積みを作成する。
- ・この揚重用クレーンの配置を決定する問題を0-1整数計画問題として定式化し、分枝限定法を使った最適解を求めるアルゴリズムを提案した。
- ・モデル現場に適用し、本モデルの妥当性と有効性を確認した。
- ・本モデルは工期を短縮もしくは延長した場合、経済性がどのように変化するか検証することができ、契約工期を技術的、経済的に最適化するための施工計画システムとして位置づけられる。

第11章では基本設計プロセスでの維持保全計画の最適化について建築物の部位、部分の最適化を例に論述した。具体的内容を摘記する。

- ・維持保全問題の記述を、劣化関数と修繕区分、劣化量と修繕費の関係などの点で行い、既存のモデルでは対応できないことを指摘した。
- ・維持保全計画立案のための修繕過程の数値モデルを開発した。モデルは修繕の方法から計画修繕、非修繕取替、事後修繕の三つ。さらに当該モデルの改良を実際の修繕意思決定の状況を加味して行い、その感度分析を行った。
- ・改良型モデルを含め、五つの修繕方法のモデルのシミュレーションを実施し、その結果の考察をした。全体としては計画修繕が経済的であるが、規定値（許容の限度）、物理的耐用年数の値によっては改良型事後修繕、非修繕取替が経済的となることを明らかにした。
- ・具体的な建築部分への適用例として鉄部塗装をとりあげ、その最適修繕方法とその時の費用を算出した。
- ・さらに当該モデルが適用される基本設計プロセスにおいては建物の使用期間、物理的な耐用年数が不確実なことから、それらの変化が最適修繕方法にどのような影響を与えるか考察した。その結果この適用例の場合、当初に設定した最適修繕方法と建物の使用期間、物理的耐用年数がずれることによって最適修繕方法が変化した場合のライフサイクルコストの差は最大で6%程度であった。

以上が本論文の内容であり、成果である。

最後に今後の課題をまとめる。

- ①第I編で論述した建築生産プロセスの各種決定問題の多様性、複雑性に比べ、第II編で開発、提案した計画システムは局部的、単純化したモデルである。しかし局部的にせよ現実の経験と達観による満足化を論理的に、さらにルール化、プログラム化し、最適化しなければならない。モデルの精緻化は実態の詳細な記述が前提となる。
- ②本論文では物的設計を支援する工事費計画、施工計画、維持保全計画の三計画システムは基本設計プロセスで意思決定者が対話的に利用して、プロジェクトの最適化をはかることとしている。しかし三計画システムの精緻化が一定程度進んだ段階では対話的に最適化をはかる（マン・マシンシステム）一方で、限定的にせよ三計画システムを統合した決定過程の論理をシステム方程式と制約条件方式に記述し、包括的な問題

の解を意思決定者に提供できる計画統合システム（本論文1.3節にいう改良型、開発型の最適化方法）を構築しなければならない。このためには三計画システムの相互関連性を実体、理論両面から研究しなければならない。

③プロジェクトの最適化には基本設計プロセスでの枠組決定が重要であるが、その前後のプロセス、つまり企画、実施設計プロセスをも含め、段階的、階層的に検討することが有効と考えられ、その方法論の具体化が必要である。

④いずれにせよ集合住宅プロジェクトの整合的最適化をすべてに合理的で主観の入る余地がない方法とすることは現在のところ不可能である。意思決定者の経験と達観による決定と最適化理論に基づく決定が共同して集合住宅プロジェクトの整合的最適化を達成しなければならない。

既報論文・報告一覧

謝 辞

■ 本論に関連する論文・報告

| No | 題 目 | 発 表 機 関 ・ 誌 名 | 発表時期 | 発 表 者 名 | 関連する章 |
|----|--|------------------------|---------|-------------------------|-------|
| 1 | 部品化による住宅供給体制の変化 | 「建築技術」 No.303 | 1976.11 | 東樋口, 古阪, 斎藤, 平井 | 1 |
| 2 | 芦屋浜団地建設における生産管理システムの調査研究 第一次報告 | 日本住宅公団 | 1977. 1 | (分担執筆) | 3, 4 |
| 3 | 設計施工競技による団地建設に関する研究1(契約前段階-その1) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)」 | 1977.10 | 古阪, 古川, 東樋口, 永易, 乗本 | 3, 4 |
| 4 | 設計施工競技による団地建設に関する研究2(契約前段階-その2) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)」 | 1977.10 | 永易, 古阪, 古川, 東樋口, 乗本 | 3, 4 |
| 5 | 芦屋浜団地建設における生産管理システムの調査研究 第二次報告 | 日本住宅公団 | 1978. 1 | (分担執筆) | 3, 4 |
| 6 | A L C板の販売, 施工システム(部品化による住宅供給の成立条件に関する研究-5) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)」 | 1978. 9 | 深井, 古川, 東樋口, 古阪 | 4 |
| 7 | サイト工場におけるP C a板の生産(設計施工競技による団地建設に関する研究-3) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)」 | 1978. 9 | 古阪, 古川, 東樋口, 川崎, 中村, 岩田 | 4 |
| 8 | 内装プレハブ工事(設計施工競技による団地建設に関する研究-4) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)」 | 1978. 9 | 岩田, 古川, 東樋口, 古阪, 川崎, 中村 | 4 |
| 9 | 内装プレハブ施工体制(部品化による住宅供給の成立条件に関する研究-6) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)」 | 1979. 9 | 福本, 古川, 東樋口, 古阪 | 4 |
| 10 | 工期の設定(設計施工競技による団地建設に関する研究-5) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)」 | 1979. 9 | 古阪, 古川, 東樋口, 深井 | 4 |
| 11 | 設計変更(設計施工競技による団地建設に関する研究-6) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)」 | 1979. 9 | 深井, 古川, 東樋口, 古阪 | 4 |
| 12 | 建設産業のコミュニケーション問題(芦屋浜プロジェクトの場合) | 「建築文化」 No.398 | 1979.12 | 東樋口, 古阪 | 4 |
| 13 | 芦屋浜高層住宅プロジェクトにおける契約方式と生産システム | 「住宅」 Vol.28, No.12 | 1979.12 | 古川, 古阪 | 4 |
| 14 | 芦屋浜団地建設における生産管理システムの調査研究 第三次報告 | 日本住宅公団 | 1980. 3 | (分担執筆) | 4 |
| 15 | 設計施工一貫方式による集合住宅建設のマネジメントに関する研究 | 竹中育英会助成金研究 | 1980. 3 | 古阪 | 4 |
| 16 | 住宅の適正部品単位に関する研究 | 科研費研究(一般C) | 1980. 3 | 古川, 東樋口, 古阪 | 4 |
| 17 | J.F.ウッドワード「設計と工事管理の計量的手法」 | 森北出版 | 1980. 8 | 古川, 東樋口, 古阪 (共訳) | 2 |
| 18 | 躯体建方工数分析(設計施工競技による団地建設に関する研究-7) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)」 | 1980. 9 | 古阪, 古川, 東樋口 | 4 |
| 19 | 現場管理者による評価(設計施工競技による団地建設に関する研究-8) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)」 | 1980. 9 | 福本, 古川, 東樋口, 古阪 | 4 |

| No | 題 目 | 発 表 機 関 ・ 誌 名 | 発表時期 | 発 表 者 名 | 関連する章 |
|----|--|---|-------------|--------------------|-------|
| 20 | 工事監理業務(設計施工競技による団地建設に関する研究-9) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)」 | 1980. 9 | 古川, 東樋口, 古阪 | 4 |
| 21 | 中高層共同住宅管理問題に関する調査研究 | (財)日本住宅総合センター (財)日本建築センター | 1980. 9 | (分担執筆) | 5 |
| 22 | G.T.Heery:時間, コスト, 建築 | 建築雑誌 Vol.96, No.1178 | 1981. 4 | 古阪 (文献抄録) | 1 |
| 23 | 公営住宅の修繕実態調査(中高層共同住宅の修繕に関する研究・1) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)」 | 1981. 9 | 須田, 古川, 東樋口, 古阪 | 5 |
| 24 | 公社住宅の修繕実態(中高層共同住宅の修繕に関する研究・2) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)」 | 1981. 9 | 古阪, 古川, 東樋口, 須田 | 5 |
| 25 | 建築工事における専門工事分割に関する研究 | 科研費研究(奨励A) | 1982. 3 | 古阪 | 5 |
| 26 | 建設業と意思決定 | 「建設業振興」 | 1982. 6 | 古阪 | 1 |
| 27 | Department of Industry's Committee for Terotechnology: テロテクノロジー | 建築雑誌 Vol.97, No.1194 | 1982. 6 | 古阪 (文献抄録) | 1 |
| 28 | 保全・耐久性向上技術の評価手法の開発 | 建設省建築研究所 | 1983. 3 | (分担執筆) | 5, 11 |
| 29 | 大工生産システムにおける「設計」問題 | 科研費研究(奨励A) | 1983. 3 | 古阪 | 4 |
| 30 | 建設公害 | 平凡社編「大百科事典」 | 1984. 1 | 古阪 | 1 |
| 31 | 保全・耐久性向上技術の評価手法の開発 | 建設省建築研究所 | 1984. 3 | (分担執筆) | 5, 11 |
| 32 | 住宅の修繕過程のモデル化に関する研究 | 科研費研究(奨励A) | 1984. 3 | 古阪 | 11 |
| 33 | 修繕過程のモデル化に関する研究(1) | 「日本建築学会近畿支部研究報告集」 第24号 | 1984. 6 | 古阪 | 11 |
| 34 | 集合住宅の概算法に関する研究1(躯体量概算の考え方) | 「日本建築学会近畿支部研究報告集」 第24号 | 1984. 6 | 古阪, 古川, 中岡, 浜口 | 8 |
| 35 | 集合住宅の概算法に関する研究2(概算法の開発と適用例) | 「日本建築学会近畿支部研究報告集」 第24号 | 1984. 6 | 浜口, 古川, 古阪, 中岡 | 8 |
| 36 | A model for the selection of the optimum crane for construction site | 「Construction Management and Economics」 Vol.2, No.2 | Autumn 1984 | S.FURUSAKA, C.GRAY | 9, 10 |
| 37 | 修繕過程のモデル(修繕計画の計量的方法に関する研究-1) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)」 | 1984.10 | 古阪, 古川, 東樋口 | 11 |
| 38 | 集合住宅の概算法に関する研究1(躯体数量概算法の開発と適用例) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)」 | 1984.10 | 浜口, 古川, 古阪, 中岡 | 8 |
| 39 | 揚重用クレーンの配置計画に関する研究 その1 | 「日本建築学会論文報告集」 第344号 | 1984.10 | 古阪 | 9, 10 |
| 40 | 保全・耐久性向上技術の評価手法の開発 | 建設省建築研究所 | 1985. 3 | (分担執筆) | 5, 11 |
| 41 | 建築概算のシステム化に関する研究 | 科研費研究(奨励A) | 1985. 3 | 古阪 | 8 |
| 42 | 修繕過程のモデル化に関する研究(2) | 「日本建築学会近畿支部研究報告集」 第25号 | 1985. 6 | 古阪 | 11 |

| No | 題 目 | 発 表 機 関 ・ 誌 名 | 発表時期 | 発 表 者 名 | 関連する章 |
|----|--|-----------------------------|---------|-------------|-------|
| 43 | 建築プロジェクトの最適化問題の考え方 | 「日本建築学会:建築生産と管理技術シンポジウム論文集」 | 1985. 7 | 古阪, 古川, 東樋口 | 7 |
| 44 | 現場作業の自由性 ー内装プレハブのケース | 「日本建築学会:建築生産と管理技術シンポジウム論文集」 | 1985. 7 | 東樋口, 古川, 古阪 | 4 |
| 45 | 修繕過程のモデルの改良と適用例 (修繕計画の計量的方法に関する研究2) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)」 | 1985.10 | 古阪, 古川, 東樋口 | 11 |
| 46 | 集合住宅の概算法に関する研究2 (クラスター分析を導入した躯体数量概算法について) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)」 | 1985.10 | 古川, 古阪, 浜口 | 8 |
| 47 | 修繕過程のモデル化と修繕戦略 | 「建築保全」 第39号 | 1985.12 | 古阪 | 11 |
| 48 | 揚重用クレーンの配置計画に関する研究 その2 | 「日本建築学会計画系論文報告集」 第358号 | 1985.12 | 古阪 | 10 |

■ その他の論文・報告

| No | 題 目 | 発 表 機 関 ・ 誌 名 | 発表時期 | 発 表 者 名 |
|----|---|------------------------|---------|-------------------------|
| 1 | 住宅管理のあり方に関する基礎的研究 | 卒業論文 | 1974. 2 | 古阪 |
| 2 | Housing Code Enforcement(HCE, 住宅条例執行事業)について | 「住宅」 Vol.23, No.8 | 1974. 8 | 延藤, 古阪 |
| 3 | Housing Code Enforcement(住宅条例執行事業)の制度概要 | 大阪市建築局 | 1974. 9 | 巽, 延藤, 古阪(共訳) |
| 4 | 兼業建設業者の実態(1) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)」 | 1976.11 | 古阪, 東野, 古川 |
| 5 | 兼業建設業者の実態(2) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)」 | 1976.11 | 古川, 東野, 古阪 |
| 6 | 部品化による住宅供給の成立条件に関する研究3 (オープン部品の普及の条件) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)」 | 1977.10 | 古川, 東樋口, 古阪, 平井, 斎藤, 永易 |
| 7 | 部品化による住宅供給の成立条件に関する研究4 (住宅部品の規模の経済性) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)」 | 1977.10 | 斎藤, 古川, 東樋口, 古阪, 平井, 永易 |
| 8 | コーポ方式需要者のライフスタイル分析 | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)」 | 1978. 9 | 川崎, 古川, 東樋口, 古阪 |
| 9 | 住宅用資材の流通 | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)」 | 1978. 9 | 古川, 東樋口, 古阪, 永易 |
| 10 | V E インセンティブ条項付契約における制度的機構 | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)」 | 1978. 9 | 中村, 古川, 東樋口, 古阪 |

| No | 題 目 | 発 表 機 関 ・ 誌 名 | 発表時期 | 発 表 者 名 |
|----|---|-----------------------|---------|-------------------------------------|
| 11 | 英国の建設工事契約制度について | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)」 | 1979. 9 | 古川, 東樋口, 古阪 |
| 12 | VEインセンティブ条項付契約における制度的機構(その2) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)」 | 1979. 9 | 中村, 古川, 東樋口, 古阪 |
| 13 | コープ方式における多様性と供給システム(部品化による住宅供給の成立条件に関する研究-7) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)」 | 1979. 9 | 東樋口, 古川, 古阪 |
| 14 | 住生活のライフスタイル分析 | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)」 | 1979. 9 | 川崎, 古川, 東樋口, 古阪 |
| 15 | 諸外国における公共住宅建設工事に係る実態調査 アメリカ編・イギリス編 | 日本住宅公団企画調査室調査課 | 1980. 6 | (分担執筆) |
| 16 | 需要者と大工のかかわり(在来木造住宅の研究) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)」 | 1980. 9 | 深井, 古川, 東樋口, 古阪 |
| 17 | 戸建プレハブ住宅の施工体制(部品化による住宅供給の成立条件に関する研究-8) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)」 | 1980. 9 | 東樋口, 古川, 古阪, 田中 |
| 18 | プレハブ住宅における寸法精度上のトラブル事例(部品化による住宅供給の成立条件に関する研究-9) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)」 | 1980. 9 | 田中, 古川, 東樋口, 古阪 |
| 19 | 島嶼の建築生産・1 | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)」 | 1981. 9 | 東樋口, 古川, 古阪 |
| 20 | 需用者と大工のかかわり・2 | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)」 | 1981. 9 | 深井, 古川, 東樋口, 古阪 |
| 21 | 大工道具の編成 | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)」 | 1981. 9 | 福本, 古川, 東樋口, 古阪 |
| 22 | Swedish Council for Building Research:建設産業の労働環境 | 建築雑誌 Vol.96, No.1186 | 1981.11 | 古阪(文献抄録) |
| 23 | 廃棄物の建設事業への利用可能性に関する研究 | 建設省建築研究所 | 1982. 3 | (分担執筆) |
| 24 | 保全・耐久性向上技術の評価手法の開発 | 建設省建築研究所 | 1982. 3 | (分担執筆) |
| 25 | 大工・工務店の特性(隠岐, 杵岐, 対馬)(島嶼の建築生産・2) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)」 | 1982.10 | 東樋口, 古川, 古阪, 深井 |
| 26 | 住宅の材料・部品(隠岐, 杵岐, 対馬)(島嶼の建築生産・3) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)」 | 1982.10 | 深井, 古川, 東樋口, 古阪 |
| 27 | 建設業の業態(隠岐)(島嶼の建築生産・4) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)」 | 1982.10 | 古阪, 古川, 東樋口, 深井 |
| 28 | 島嶼の建築生産に関する研究 | 科研費研究(総合A) | 1983. 3 | 古川, 東樋口, 古阪, 藤上, 藤沢, 須田, 渡辺, 片野, 杉本 |
| 29 | 廃棄物の建設事業への利用可能性に関する研究 | 建設省建築研究所 | 1983. 3 | (分担執筆) |
| 30 | 第3回建設業構造基本調査 | 建設省計画局(財)建設業振興基金 | 1983. 5 | (分担執筆) |
| 31 | 沖永良部の建設産業構造(島嶼の建築生産・5) | 「日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)」 | 1983. 9 | 古阪, 古川, 東樋口, 深井 |

| No | 題 目 | 発 表 機 関 ・ 誌 名 | 発表時期 | 発 表 者 名 |
|----|--|---------------------------|---------|---------------------|
| 32 | 沖永良部の大工 (島嶼の建築生産・6) | 「日本建築学会大会学術 講演梗概集(北陸)」 | 1983. 9 | 東樋口, 古川, 古阪, 深井 |
| 33 | 沖永良部島の住宅生産技術の変遷 (島嶼の建築生産・7) | 「日本建築学会大会学術 講演梗概集(北陸)」 | 1983. 9 | 須田, 古川, 東樋口, 古阪 |
| 34 | 人名制と塩飽大工 (島嶼の建築生産・8) | 「日本建築学会大会学術 講演梗概集(北陸)」 | 1983. 9 | 井上, 古川, 東樋口, 古阪, 深井 |
| 35 | 現在の塩飽大工 (島嶼の建築生産・9) | 「日本建築学会大会学術 講演梗概集(北陸)」 | 1983. 9 | 深井, 古川, 東樋口, 古阪, 井上 |
| 36 | 島嶼の建築生産・10 | 「日本建築学会大会学術 講演梗概集(北陸)」 | 1983. 9 | 古川, 東樋口, 古阪 |
| 37 | 廃棄物の建設事業への再利用技術 に関する研究 | 建設省建築研究所 | 1984. 3 | (分担執筆) |
| 38 | プレハブ住宅の適正部品化(部品 化による住宅供給の成立条件に 関する研究-10) | 「日本建築学会大会学術 講演梗概集(関東)」 | 1984.10 | 東樋口, 古川, 古阪 |
| 39 | 大工・工務店による非定型的設計 監理業務に関する研究 (1) | 「日本建築学会大会学術 講演梗概集(関東)」 | 1984.10 | 深井, 古川, 東樋口, 古阪 |
| 40 | 廃棄物の建設事業への再利用技術 に関する研究 | 建設省建築研究所 | 1985. 3 | (分担執筆) |
| 41 | プレハブ住宅現場組立工程の「ま るめ」(部品化による住宅供給の成 立条件に関する研究-11) | 「日本建築学会大会学術 講演梗概集(東海)」 | 1985.10 | 東樋口, 古川, 古阪 |
| 42 | 大工・工務店の設計と図面文書 (大工・工務店による非定型的設 計監理業務に関する研究-2) | 「日本建築学会大会学術 講演梗概集(東海)」 | 1985.10 | 深井, 古川, 東樋口, 古阪 |
| 43 | 住宅と住生活のライフスタイルに 関する研究 | 「日本建築学会大会学術 講演梗概集(東海)」 | 1985.10 | 山元, 古川, 東樋口, 古阪 |

謝 辞

本論文は多くの方々の御援助と御協力によってまとめることができました。

京都大学建築学教室 古 川 修 教授には終始自由な研究環境を与えていただき、広くは研究活動の厳しさと面白さなど、本論文では直接、且つ実質的な御指導と御鞭撻つを賜りました。

京都大学建築学教室 巽 和 夫 教授には学生時代から研究への取り組み方、粘り強く挑戦することの重要性を御教示賜りました。

京都大学土木学教室 春 名 攻 助教授には本論文の構想を考えるうえで多くの御示唆と温かい励ましをいただきました。

先輩 東 樋 口 護 助手には具体的な内容、方法論についての御指導と啓発をいただきました。

古川研究室の当時の大学院生、学生の諸兄姉には調査研究の協働の労をいただきました。

これらの方々に深甚なる感謝の意を表します。

また、資料提供、調査研究に御協力いただいた関係諸氏、資料整理、編集に多大な労をとっていただいた諸嬢に心から感謝の意を表します。

1986年 2月 筆 者

